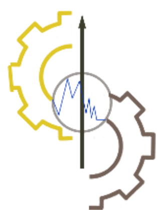
E-ISSN: 2717-4581 | P-ISSN: 2783-1345



Innovation Management and Operational Strategies

www.journal-imos.ir

Inov. Manage. Oper. Stra. Vol. 5, No. 3 (2024) 306–330.



Paper Type: Original Article



Identifying and Evaluating Supplier Selection Criteria in Iran's Steel Industry According to Industry 4.0 Technologies

Shahab Bayatzadeh[1,*], Maghsoud Amiri[1]

[1]*Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran; shahabbayatzadeh@gmail.com; mg_amiri@yahoo.com.*

Citation:



Bayatzadeh, S., & Amiri, M. (2024). Identifying and evaluating supplier selection criteria in iran's steel industry according to industry 4.0 technologies. *Innovation management and operational strategies, 5*(3), 306-330.

Received: 14/05/2024 Reviewed: 21/07/2024 Revised: 11/08/2024 Accepted: 23/09/2024

Abstract

Purpose: With the emergence of Industry 4.0, supply chains have undergone fundamental changes, profoundly impacting on production and supply processes in various industries. The main goal of this study is to identify and evaluate the important criteria for selecting suppliers in Iran's steel industry, taking into account industry 4.0 technologies and their role in supplier selection.

Methodology: By studying and reviewing previous researches, the study first identifies the criteria. Then, the Fuzzy Delphi method is employed to confirm these criteria. Weighting and prioritization of criteria is done by using Fuzzy FUCOM method.

Findings: The results show that criteria such as quality, price, how to use the internet of things, lead time, settlement method and digital cooperation play an important role in choosing a supplier in Iran's steel industry, considering the role of Industry 4.0 technologies.

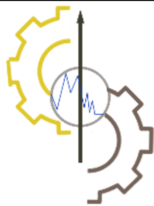
Originality/Value: For the first time, this research examines the supplier selection criteria in Iran's steel industry, focusing on the technologies and concepts of Industry 4.0. Because decision-making in the real world is often faced with uncertainty, Employing the Fuzzy Delphi and Fuzzy FUCOM methods in this article will make decisions in the selection of suppliers in Industry 4.0 enables more accurate and reliable decision-making.

Keywords: Supplier selection, Fuzzy Delphi, Industry 4.0, Steel industry, Fuzzy FUCOM.

 Corresponding Author: shahabbayatzadeh@gmail.com

10.22105/imos.2024.472776.1379





مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی

دوره ۵، شماره (۳)، (۱۴۰۳)، ۳۳۰-۳۰۶

www.journal-imos.ir





نوع مقاله: پژوهشی

شناسایی و ارزیابی معیارهای انتخاب تامین‌کننده در صنعت فولاد ایران با توجه به فناوری‌های صنعت ۴/۰

شهاب بیات زاده[1,*]، مقصود امیری[1]

[1]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: با ظهور صنعت ۴/۰، زنجیره‌های تامین دچار تحولات بنیادینی شده‌اند که تاثیرات عمیقی بر فرآیندهای تولید و تامین در صنایع مختلف دارند. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و ارزیابی معیارهای مهم برای انتخاب تامین‌کنندگان در صنعت فولاد ایران با در نظر گرفتن فناوری‌های صنعت ۴/۰ و نقش آن‌ها در انتخاب تامین‌کننده است.

روش‌شناسی پژوهش: با مطالعه و بررسی پژوهش‌های پیشین، معیارها در ابتدا شناسایی می‌شوند. سپس با بهره‌گیری از روش دلفی فازی معیار تاییدشده‌اند که با استفاده از روش فوکام فازی وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها انجام می‌پذیرد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که معیارهایی همچون کیفیت، قیمت، نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا، زمان تاخیر، روش تسویه‌حساب و همکاری دیجیتال نقش مهمی در انتخاب تامین‌کننده در صنعت فولاد ایران با توجه به نقش فناوری‌های صنعت ۴/۰ دارند.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: این پژوهش برای اولین‌بار به بررسی معیارهای انتخاب تامین‌کننده در صنعت فولاد ایران با تمرکز بر فناوری‌ها و مفاهیم صنعت ۴/۰ می‌پردازد. به دلیل اینکه تصمیم‌گیری در دنیای واقعی اکثرا با عدم‌قطعیت روبه‌روست، به‌کارگیری روش‌های دلفی و فوکام فازی در این مقاله باعث می‌شود تا تصمیم‌گیری‌ها در انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ با دقت و اطمینان بیشتری انجام شود.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تامین‌کننده، دلفی فازی، صنعت ۴/۰، صنعت فولاد، فوکام فازی.

۱- مقدمه

چهارمین انقلاب صنعتی که معمولا به‌عنوان صنعت ۴/۰ نامیده می‌شود، توسط پروفسور آلمانی ولفگنگ واشلر[1] در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه هانوفر ابداع شد. این تحول دیجیتالی صنایع تولیدی است که بر اتوماسیون، همکاری متقابل و بهینه‌سازی فرآیند در زمان واقعی با استفاده از فناوری‌های دیجیتالی توانمند مانند اینترنت اشیا[2]، یادگیری ماشینی[3]، هوش مصنوعی[4]، سیستم‌های سایبری-فیزیکی، رایانش ابری و ... برای برقراری ارتباط تمرکز دارد [1]. صنعت ۴/۰ نشان‌دهنده دیجیتالی شدن سرتاسر سیستم‌ها و فرآیندهای موجود در زنجیره ارزش سازمان است. صنعت ۴/۰ در بسیاری از کشورها به‌عنوان تولید هوشمند نیز شناخته می‌شود [2]. به صنعت ۴/۰، تولید هوشمند و اینترنت اشیا نیز می‌گویند، این توصیف به بهبود

---

[1] Wolfgang wahlster
[2] Internet of Things (IoT)
[3] Machine Learning (ML)
[4] Artificial Intelligence (AI)

مستمر به سمت اتوماسیون، یادگیری ماشینی و کنترل بهتر بر فرآیند تولید اشاره می‌کند. صنعت ۴/۰ شامل تمام استراتژی‌های تولید پیشرفته است که منجر به تعامل بین ماشین و محصول بدون یا با حداقل دخالت انسان می‌شود [3].

صنعت ۴/۰، تاثیر عمیق و گسترده‌ای بر زنجیره‌تامین داشته است. این دگرگونی اساسا نحوه طراحی، مدیریت و بهینه‌سازی عملیات زنجیره‌تامین خود را در کسب‌وکارها تغییر داده است. صنعت ۴/۰ نشان‌دهنده یک تغییر پارادایم در روشی است که شرکت‌ها از فناوری‌های دیجیتال برای افزایش کارایی، دیده شدن و پاسخگویی در زنجیره‌تامین خود استفاده می‌کنند [4]. صنعت ۴/۰ از مرزهای سنتی فرآیندهای تولید مجزا و زنجیره‌های تامین خطی فراتر می‌رود و از رویکردی جامع و به‌هم‌پیوسته دفاع می‌کند که در آن ماشین‌ها، محصولات و انسان‌ها به‌طور یکپارچه در یک اکوسیستم منسجم ادغام می‌شوند [5].

هوش مصنوعی و رباتیک برای بهینه‌سازی عملیات زنجیره‌تامین در صنعت ۴/۰ هم‌افزایی می‌کنند. سیستم‌های رباتیک خودران که توسط هوش مصنوعی کار می‌کنند، انبارها را هدایت می‌کنند، موجودی‌ها را مدیریت می‌کنند و سفارش‌ها را با سرعت و دقت بالا انجام می‌دهند. ادغام این فناوری‌ها، دید در زمان واقعی را در فرآیندهای زنجیره‌تامین تضمین می‌کند، تصمیم‌گیری سریع‌تر را تسهیل می‌کند و خطاها را در عملیات لجستیک به حداقل می‌رساند [6]. یکی از مهم‌ترین تاثیرات صنعت ۴/۰ بر زنجیره‌های تامین، ادغام فناوری‌های پیشرفته است. این فناوری‌ها نظارت در لحظه فرآیندهای زنجیره‌تامین را امکان‌پذیر می‌سازند و تصمیم‌گیری مبتنی برداده را تسهیل می‌کنند [7].

دستیابی به فناوری پیشرفته باعث تغییرات قابل‌توجهی در مدیریت زنجیره‌تامین می‌شود زیرا بر عملکرد خرده‌فروشان، شرکت‌های عملیاتی و سایر اجزای زنجیره‌تامین تاثیر می‌گذارد؛ بنابراین، محققان معمولاً بر روی اصول و شیوه‌های مدیریت زنجیره‌تامین دیجیتالی شده تمرکز می‌کنند و عوامل و موانع آن را تعیین می‌کنند [8]. پاسخگویی و شفافیت زنجیره‌تامین را می‌توان با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴/۰ افزایش داد. به‌عنوان مثال، شرکت‌ها می‌توانند از فناوری بلاک چین برای ردیابی منشا و زنجیره‌تامین مواد استفاده کنند و اطمینان حاصل کنند که منابع اخلاقی و سازگار با محیط‌زیست هستند .[9]

اینترنت اشیا به‌عنوان یک پدیده رو به رشد در حال گسترش در حوزه‌های متعددی است که هر یک از آن‌ها تحولات بنیادینی را تجربه می‌کنند. ازجمله این حوزه‌ها می‌توان به شهرهای هوشمند اشاره کرد؛ جایی که اینترنت اشیا با اتصال زیرساخت‌های شهری مانند سیستم‌های حمل‌ونقل، مدیریت ترافیک، روشنایی عمومی و حتی خدمات اورژانسی، به بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک می‌کند. سیستم‌های انرژی هوشمند نیز با بهره‌گیری از اینترنت اشیا قادر به مدیریت بهتر مصرف انرژی، بهینه‌سازی تولید برق از منابع تجدیدپذیر و کاهش هدررفت انرژی در شبکه‌های توزیع هستند [10].

در سال‌های اخیر، اینترنت اشیا به‌عنوان یک فناوری نوظهور و تحول‌آفرین، موردتوجه بسیاری از سیاست‌گذاران، صاحبان مشاغل و صنعتگران قرارگرفته است. این فناوری با اتصال اشیا و دستگاه‌های مختلف به اینترنت و ایجاد ارتباطات هوشمند بین آن‌ها، امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها به‌صورت بلادرنگ و افزایش کارایی را فراهم می‌کند. ایران نیز به‌عنوان یک اقتصاد در حال گذار از اقتصاد عامل‌محور به اقتصاد کارآمد، به‌ویژه در صنعت‌های استراتژیکی مانند فولاد، علاقه فزاینده‌ای به اینترنت اشیا نشان داده است [11].

صنعت فولاد با تولید ۳۲/۱۰۸/۰۰۰ تن در سال ۱۴۰۲ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و استراتژیک‌ترین صنایع در اقتصاد ایران از این تحولات مستثنی نبوده است [12]. با توجه به پیچیدگی‌ها و چالش‌های خاص این صنعت، انتخاب صحیح تامین‌کنندگان می‌تواند تاثیر قابل‌توجهی بر کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات و افزایش رقابت‌پذیری داشته باشد.

علیرغم نقش حیاتی صنعت ۴/۰ در زنجیره‌تامین که در بالا موردبحث قرار گرفت، تاکنون پیشینه پژوهش با شفافیت مفاهیم صنعت ۴/۰ را در مساله انتخاب تامین‌کننده در صنعت فولاد ایران موردبررسی قرار نداده است. درواقع، شکاف تحقیقاتی اصلی که در کار فعلی برآورده شده است، نادیده گرفتن فناوری‌های صنعت ۴/۰ در مشکلات انتخاب تامین‌کننده در صنایع فولاد ایران است. به این ترتیب، نوآوری‌های اصلی پژوهش فعلی به شرح زیر است:

۱- تمرکز بر نقش فناوری‌های صنعت ۴٫۰ در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با زنجیره‌تامین یکی از جنبه‌های نوآورانه این تحقیق است.
۲- بسیاری از تحقیقات جهانی که به انتخاب تامین‌کننده پرداخته‌اند، بر صنایع و کشورهایی تمرکز داشته‌اند که ساختارهای زنجیره‌تامین و زیرساخت‌های فناورانه پیشرفته‌تری دارند. این معیارها بدون توجه به شرایط اقتصادی، فرهنگی و صنعتی ایران به‌کار برده شده‌اند. این پژوهش برای اولین بار معیارهای جهانی انتخاب تامین‌کننده را با در نظر گرفتن چالش‌ها و شرایط خاص صنعت فولاد ایران تطبیق داده و آن‌ها را به‌طور بومی‌سازی‌شده موردبررسی قرار داده است.
۳- روش دلفی و فوکام تحت محیط فازی ترکیب می‌شوند و کل فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره را کارآمد و کاربردی می‌کند. ترکیب این روش‌ها در مقالات انتخاب تامین‌کننده در صنایع استفاده نشده است.

در این مقاله ابتدا با مطالعه و بررسی پژوهش‌های پیشین در این حوزه معیارهای انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴٫۰ شناسایی می‌شوند و سپس با استفاده از نظر خبرگان و پرسشنامه دلفی فازی، معیارها مورد تایید قرار می‌گیرند. در انتها با استفاده از روش فوکام فازی این معیارها وزن دهی می‌شوند و اهمیت معیارها به ترتیب در صنعت فولاد ایران به دست می‌آید. نتایج این پژوهش می‌تواند به توسعه دانش و کاربرد مفاهیم صنعت ۴٫۰ در مدیریت زنجیره‌تامین و به‌خصوص در انتخاب تامین‌کنندگان در صنعت فولاد ایران کمک کند و در نهایت منجر به افزایش بهره‌وری و رقابت‌پذیری در این صنعت شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- صنعت ۴٫۰

اولین انقلاب صنعتی به وجود آمد تا از نیروی آب و بخار برای مکانیزه کردن تولید استفاده کند. انقلاب صنعتی دوم با استفاده از برق برای ایجاد خط مونتاژ و تولید انبوه شناخته می‌شود. انقلاب صنعتی سوم کارخانه‌ها را با استفاده از سخت‌افزار و فناوری‌های محاسباتی برای خودکارسازی تولید متحول کرد. انقلاب صنعتی چهارم به‌طور گسترده به‌عنوان یک محیط تولید دیجیتالی توصیف می‌شود که فناوری‌های تولید پیشرفته را ترکیب می‌کند تا تولیدی به‌هم‌پیوسته ایجاد کند که تجزیه‌وتحلیل، ارتباط و استفاده از داده‌ها برای انجام اقدامات هوشمندانه در دنیای فیزیکی را انجام دهد [13].

در صنعت ۴٫۰، سیستم‌های تولید به‌صورت عمودی با فرآیندهای تجاری در کارخانه‌ها و شرکت‌ها و به‌صورت افقی به شبکه‌های ارزش پراکنده متصل هستند که می‌توانند در زمان واقعی مدیریت شوند – از لحظه ثبت سفارش تا تدارکات خروجی [14]. نمونه‌هایی از فناوری‌های اصلی صنعت ۴٫۰ عبارتند از اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبر-فیزیکی، تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده، هوش مصنوعی و ساخت افزایشی. بسیاری از فناوری‌های دیجیتال دیگر به‌عنوان فناوری‌های کلیدی برای صنعت ۴٫۰ در نظر گرفته می‌شوند [15]. شرح این فناوری‌ها در **جدول ۱** آورده شده است.

جدول ۱- فناوری‌های اصلی تشکیل‌دهنده صنعت ۴٫۰.
Table 1- The main technologies of Industry 4.0.

فناوری	شرح	منبع
اینترنت اشیا	اینترنت اشیا اصطلاحی است که اخیرا در فناوری استفاده می‌شود و وضعیت اتصال بین چندین دستگاه را در هر زمان و هر مکان توصیف می‌کند. برخی دیگر آن را توانایی اشیا برای عملکرد در فضاهای هوشمند و داشتن هویت شخصی و شخصیت مجازی توصیف کرده‌اند. این تجهیزات می‌توانند اطلاعات را مبادله کنند و در زمینه‌های مختلف تعامل داشته باشند.	[16]
	اینترنت اشیا فناوری قدرتمندی برای صنعت ۴٫۰ است که از حسگرها و محرک‌های هوشمند و متصل برای اتصال افراد، محصولات و فرآیندها برای ایجاد تحول دیجیتال استفاده می‌کند. اینترنت اشیا تجهیزات را نظارت می‌کنند و داده‌های صنعتی را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند.	[13]
	شبکه‌ای از اشیای فیزیکی مختلف که با حسگرها، نرم افزارها و فناوری‌های دیجیتال ادغام شده‌اند که به آن‌ها اجازه می‌دهد با استفاده از اینترنت به یکدیگر متصل شده و با هم ارتباط برقرار کنند، اینترنت اشیا نامیده می‌شود.	[1]

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
	اینترنت اشیا به اتصال همه ابزارها به اینترنت و به یکدیگر اشاره دارد. این فناوری مبتنی بر رایانش ابری و شبکه حسگرهای جمع‌آوری داده است. اینترنت اشیا به کارخانه‌های هوشمند اجازه ظهور می‌دهد، زیرا تجهیزات از داده‌ها برای تولید، حمل‌ونقل، گزارش‌دهی مؤثر و یادگیری با سرعت‌های خیره‌کننده استفاده می‌کنند.	[17]
	اینترنت اشیا شبکه‌ای از دستگاه‌های فیزیکی متصل به اینترنت است که مجهز به حسگرها، نرم‌افزار و اتصالاتی است که آن‌ها را قادر می‌سازد تا داده‌ها را در زمان واقعی جمع‌آوری و تبادل کنند. در محیط‌های صنعتی، چندین حسگر اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌ها در مورد ماشین‌آلات، دستگاه‌ها و فرآیندها برای تعیین نحوه عملکرد آن‌ها استفاده می‌شود. به‌محض جمع‌آوری و ارسال این داده‌ها از طریق سیستم، آن‌ها تجزیه‌وتحلیل می‌شوند و امکان نظارت در زمان واقعی، نگهداری پیش‌بینی‌شده و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌ها را فراهم می‌کند.	[18]
هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی	به‌عنوان یک شاخه از علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی به دنبال تقلید هوش انسان برای ایجاد یک ماشین هوشمند جدید است که قادر به پاسخگویی مانند انسان باشد. زمینه‌های مطالعه هوش مصنوعی شامل رباتیک، تشخیص تصویر، تشخیص زبان، شبکه‌های عصبی، یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق و سیستم‌های خبره است.	[13]
	هوش مصنوعی یک هوش مبتنی بر الگوریتم است که به ماشین‌ها داده می‌شود تا مهارت‌های حل مساله، تصمیم‌گیری و انجام تکالیف انسان مانند را به آن‌ها منتقل کند. به‌عبارت‌دیگر، هوش مصنوعی باعث می‌شود کامپیوترها مانند انسان فکر کنند و رفتار کنند. هوش مصنوعی ترکیبی از چندین فناوری دیجیتال و نرم‌افزار است که به‌عنوان نیروی محرکه صنعت ۴/۰ عمل می‌کند. یادگیری ماشینی زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی است که از داده‌ها، الگوریتم‌ها و نرم‌افزارها برای پیش‌بینی دقیق نتیجه از طریق یادگیری آماری استفاده می‌کند. داده‌های تاریخی برای آموزش سیستم برای پیش‌بینی و بهبود تدریجی برای افزایش دقت پیش‌بینی استفاده می‌شود. اگرچه یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه عصبی مصنوعی همگی زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی هستند، اما شرکت IBM یادگیری عمیق را به‌عنوان شاخه‌ای از یادگیری ماشینی و شبکه عصبی مصنوعی را به‌عنوان شاخه‌ای از یادگیری عمیق طبقه‌بندی می‌کند.	[1]
	دستیابی صنعت ۴/۰ بدون پیشرفت‌های فراوان در هوش مصنوعی امکان‌پذیر نبود. هوش مصنوعی چیزی است که به ربات‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور مستقل عمل کنند و انتخاب‌های خود را انجام دهند. یادگیری ماشینی که سیستم‌های کامپیوتری را قادر می‌سازد تا از داده‌هایی که تغذیه می‌شوند یاد بگیرند، در این زمینه اهمیت ویژه‌ای دارد.	[17]
	فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نقش مهمی در صنعت ۴/۰ دارند. با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان فرآیندها را خودکار کرد، پیش‌بینی کرد و آن‌ها را بدون نیاز به دخالت انسان بهینه کرد. علاوه بر توانایی تشخیص الگوها در داده‌ها، الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌توانند در نگهداری پیش‌بینی‌کننده، کنترل کیفیت و پیش‌بینی تقاضا نیز کمک کنند.	[18]
	هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان هوشی که توسط ماشین‌ها بر اساس الگوریتم‌های ریاضی و تجزیه‌وتحلیل آماری از داده‌ها به تصویر کشیده می‌شود، تعریف کرد. یادگیری ماشینی زیرشاخه‌ای از هوش مصنوعی است و به‌عنوان مجموعه‌ای از روش‌ها تعریف می‌شود که می‌تواند به‌طور خودکار الگوها را در داده‌ها شناسایی کند و سپس از الگوهای کشف نشده برای پیش‌بینی نتایج استفاده کند. اغلب، هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی به‌صورت مترادف استفاده می‌شوند اما ماشین‌های دارای هوش مصنوعی اغلب ماشینی هستند که از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای افزایش بهره‌وری یا حذف نیاز به مداخله انسانی استفاده می‌کنند.	[19]

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
رایانش ابری	رایانش ابری مدلی برای فعال کردن دسترسی جهانی، مشترک و بر اساس تقاضا به یک شبکه مشترک از منابع محاسباتی قابل تنظیم است که می‌تواند با حداقل تلاش و تعامل با ارایه‌دهنده مورد استفاده قرار گیرد. رایانش ابری به‌عنوان یکی از توانمندسازهای اصلی صنعت ۴/۰ در حال تکامل است و می‌تواند تولید سنتی را برای ایجاد شبکه‌های کارخانه‌ای هوشمند که به‌عنوان تولید ابری تعریف می‌شود، متحول کند. در یک محیط تولید ابری، مجموعه داده‌های عظیمی با استفاده از فناوری‌های مجازی‌سازی، ذخیره، تجزیه‌وتحلیل و متعاقبا با منابع فیزیکی به اشتراک گذاشته می‌شوند.	[16]
	فناوری‌های پیشرفته صنعت ۴/۰، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و ... نیازمند قابلیت‌های محاسباتی و ذخیره‌سازی قابل‌توجهی هستند. رایانش ابری خدمات میزبانی‌شده را ارایه می‌دهد و تولیدکنندگان را قادر می‌سازد تا داده‌ها را به‌طور موثر از طریق اینترنت ذخیره و بازیابی کنند. فناوری‌های ابری سنگ بنای تولید هوشمند امروزی هستند. رایانش ابری می‌تواند روند را سرعت بخشد و به شرکت‌ها در افزایش انعطاف‌پذیری، امنیت، همکاری و صرفه‌جویی در هزینه کمک کند.	[1]
	ارایه خدمات شبکه و محاسبات از طریق اینترنت را رایانش ابری می‌نامند. ازآنجایی‌که خدماتی مانند سرور، ذخیره‌سازی، پایگاه داده، شبکه، تجزیه‌وتحلیل و اطلاعات از طریق اینترنت ("ابر") ارایه می‌شود، مقرون‌به‌صرفه و بسیار انعطاف‌پذیر است. قابلیت اطمینان، مقیاس‌پذیری و مدیریت متمرکز داده‌ها و نرم‌افزار از مزایای استفاده از رایانش ابری است.	[17]
	به دلیل رایانش ابری، امکان ذخیره‌سازی و قابلیت‌های پردازشی مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر وجود دارد. در صنعت ۴/۰، جایی که سیستم‌ها حجم عظیمی از داده‌ها را تولید می‌کنند، محاسبات ابری نقشی محوری در مهار و استفاده حداکثری از این اطلاعات گسترده ایفا می‌کند.	[18]
	رایانش ابری مقیاس‌پذیری و دسترسی را تسهیل می‌کند و تولیدکنندگان را قادر می‌سازد تا از تحلیل‌های پیچیده استفاده کنند و در سراسر مناطق جغرافیایی در زمان واقعی همکاری کنند.	[5]
تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده	تجزیه‌وتحلیل کلان داده یک اصطلاح فنی است که به تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های عظیمی اشاره دارد که به‌سرعت در حال رشد هستند، برای استخراج اطلاعات مفید و الگوهای داده‌ای که می‌توانند برای مشاغل ارزشمند باشند. تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده یک عنصر ضروری از صنعت ۴/۰ است، زیرا این حجم عظیم از داده‌ها که جمع‌آوری می‌شود، فراتر از روش‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌های دستی یا مرسوم است.	[16]
	کلان داده حجم عظیمی از داده‌ها هستند که معمولا با پتابایت یا زتابایت اندازه‌گیری می‌شوند. تکنیک تحلیلی پیشرفته‌ای که به‌طور سیستماتیک برای شناسایی الگوهای ناشناخته پشت داده‌ها و ارتباط آن‌ها با رفتار خاصی که به تصمیم‌گیری کمک می‌کند استفاده می‌شود، تجزیه‌وتحلیل کلان داده است. با ظهور هوش مصنوعی، سیستم‌های متصل مبتنی بر حسگر، شبکه‌های اجتماعی و دستگاه‌های ارتباطی دیجیتال، حجم عظیمی از داده‌ها در هر ثانیه تولید می‌شود که برای پیش‌بینی نتیجه و تصمیم‌گیری سریع‌تر نیاز به پردازش در زمان واقعی دارد.	[1]
	نوآوری مبتنی بر داده، پله هوش مصنوعی صنعتی است و نفوذ مداوم کلان‌داده به صنایع، دلیل اصلی استفاده صنایع از کلان‌داده به‌عنوان ابزاری برای تولید هوشمند است؛ بنابراین، صنایع به کلان‌داده به‌عنوان ابزاری برای به دست آوردن، تجزیه‌وتحلیل، استخراج و انجام تجزیه‌وتحلیل بر روی مجموعه داده‌هایی که بیش‌ازحد بزرگ هستند که توسط فرآیندهای سنتی مدیریت نمی‌شوند، متکی هستند.	[19]

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
	برای به دست آوردن بینش و تصمیم‌گیری آگاهانه، تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده شامل پردازش و تفسیر مقادیر زیادی از اطلاعات جمع‌آوری شده است. صنعت ۴/۰ با استفاده از پلتفرم‌های تحلیلی برای شناسایی روندها، بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش کارایی مشخص می‌شود.	[18]
	تجزیه‌وتحلیل و طبقه‌بندی حجم عظیمی از داده‌ها را به اطلاعات و دانش مفید ارایه می‌دهد که می‌تواند از فرآیندهای تصمیم‌گیری در سازمان‌ها پشتیبانی کند. ازآنجایی‌که تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده امکان دسترسی به اطلاعات حیاتی بلادرنگ را فراهم می‌کند، سازمان‌ها می‌توانند از این اطلاعات برای اقدام پیشگیرانه و کاهش خطرات اختلال بهره‌برداری کنند.	[15]
رباتیک و اتوماسیون	هردو اتوماسیون و رباتیک دست‌به‌دست هم می‌دهند زیرا هدف آن‌ها کار مستقل و کارآمد در صنایع برای بهبود بهره‌وری است. با اتصال ربات‌ها به یک سیستم کامپیوتری متمرکز، می‌توان فعالیت‌های آن‌ها را کنترل کرد که به آن‌ها کمک می‌کند تا کار را بدون دخالت انسان انجام دهند. اگرچه اتوماسیون و رباتیک برای چندین دهه در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند، ربات‌هایی که در محیط صنعت ۴/۰ استفاده می‌شوند دارای حسگرهای پیشرفته، الگوریتم‌های کنترل، کانال‌های ارتباطی داده‌ها، سیستم‌های ناوبری و هدایت و توانایی‌های پردازش داده خواهند بود.	[1]
	در زمینه صنعت ۴/۰، ربات‌ها حسگرهایی یکپارچه دارند که داده‌ها را در زمان واقعی جمع‌آوری کرده و در رایانه‌های ابری آپلود می‌کنند. داده‌ها ذخیره، ردیابی و تجزیه‌وتحلیل می‌شوند و سپس برای فعال کردن حس، درک، عمل و یادگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. دسته خاصی از ربات‌ها ربات‌های مشارکتی یا کوبات هستند که به کارگران کمک می‌کنند تا وظایف خود را با استفاده از حالت‌های مختلف همکاری انجام دهند. کوبات‌ها می‌توانند کارگران را موثرتر و کارآمدتر کنند.	[15]
	بخش مهمی از مفهوم کارخانه‌های هوشمند، استفاده از رباتیک و سیستم‌های خودکار برای خودکارسازی فرآیند تولید است. این ماشین‌ها با دقت و سرعت خود می‌توانند وظایف مختلفی را انجام دهند و کارایی فرآیندهای تولید را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشند. با ادغام سیستم‌های رباتیک در صنعت ۴/۰، یک تغییر پارادایم در نحوه عملکرد کارخانه‌ها رخ می‌دهد و سطحی از بهره‌وری و دقت را تضمین می‌کند که قبلا غیرقابل‌تصور بود. شکی نیست که ربات‌های مشارکتی که معمولا به آن‌ها کوبات گفته می‌شود، یک پیشرفت اساسی در تولید هوشمند هستند.	[18]
	ربات‌های مشارکتی که اغلب به آن‌ها کوبات گفته می‌شود، نمونه‌ای از هم‌افزایی بین هوش مصنوعی و روباتیک است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی ربات‌ها را قادر می‌سازد تا در کنار اپراتورهای انسانی با خیال راحت کار کنند، با محیط‌های پویا سازگار شوند و رفتار خود را بر اساس ورودی‌های بلادرنگ تنظیم کنند. این رویکرد مشترک انعطاف‌پذیری را در کف کارخانه افزایش می‌دهد و همکاری انسان و ربات را در کارهایی که نیاز به‌دقت، سرعت و سازگاری دارند، ترویج می‌کند.	[6]
	ربات‌های صنعتی جز مهمی از صنعت ۴/۰ هستند و می‌توانند برخی از چالش‌ها را در صنایع مانند دشواری در دست‌یابی به نیروی کار مناسب و کاهش زمان و هزینه تولید حل کنند.	[20]

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
بلاکچین[1]	ایده اصلی پشت بلاکچین دستیابی به امنیت شبکه و شفافیت است که عناصری مانند قراردادهای هوشمند، الگوریتم‌های اجماع، سیستم‌های ذخیره‌سازی و رمزگذاری داده را ترکیب می‌کند. بلاکچین را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای از بلوک‌های متصل توصیف کرد که هرکدام شناسه مخصوص به خود را دارند. تاریخچه تراکنش‌ها را می‌توان به‌راحتی بین بلوک‌ها ردیابی کرد و ویژگی‌های شفاف و ایمن آن را به این فناوری می‌دهد، به‌خصوص اگر هر تراکنش توسط کاربران در شبکه تایید شود.	[16]
	فناوری بلاکچین مجموعه‌ای از رکوردهای غیرمتمرکز و به‌طور مداوم در حال رشد است که به‌عنوان «بلوک» شناخته می‌شود و در رایانه‌های متعدد متصل در شبکه همتا به همتا نگهداری می‌شود. هر تراکنش اضافه‌شده به یک بلاک چین توسط چندین کامپیوتر در اینترنت تایید می‌شود.	[13]
	فناوری بلاکچین را می‌توان به‌عنوان یک پایگاه داده توزیع شده در نظر گرفت که در آن داده‌های دفتر کل ذخیره‌شده، بین شرکت‌کنندگان از سازمان‌های مختلف به اشتراک گذاشته می‌شود. شرکت‌کنندگان از قبل با قوانین اشتراک‌گذاری داده موافقت کنند. همه داده‌های به اشتراک‌گذاشته‌شده در یک نسخه رمزگذاری‌شده انجام می‌شوند. بلوک برای نام‌گذاری هر مجموعه جدیدی از تراکنش‌های اضافه‌شده به پلتفرم استفاده می‌شود.	[15]
	بلاکچین قابلیت ردیابی را در سراسر زنجیره‌تامین افزایش می‌دهد، داده‌ها را از تولیدکننده به مصرف‌کننده متصل و ردیابی می‌کند و امکان فراخوان دقیق‌تر و سریع‌تر را فراهم می‌کند.	[20]
	بلاک چین اولین بار توسط ناکاموتو (۲۰۰۸) به‌عنوان دفتر کل معاملات توزیع‌شده در شبکه همتا به همتا معرفی شد. هر بلوک تغییرناپذیر است، حاوی اطلاعات تراکنش است و در چندین گره شبکه تکثیر می‌شود. انتخاب الگوریتم بلاک چین مناسب، برای رویارویی با چالش‌های زنجیره‌تامین ۴/۰ برای یک صنعت، بسیار مهم است.	[14]
سیستم‌های سایبر-فیزیکی	در یک سیستم فیزیکی سایبری (CPS)، اشیا فیزیکی با استفاده از سنجش، محاسبات، کنترل و شبکه، به اینترنت و یکدیگر متصل می‌شوند. تفاوت بین CPS و IoT در این است که اشیا، فرآیندها و محاسبات در CPS یکپارچه می‌شوند و یک سیستم یکپارچه از اشیا و سیستم‌ها ایجاد می‌کنند. این شکل پیشرفته اتصال و اتوماسیون برای زنجیره‌های تامین ارزشمند است و یک پلتفرم عالی برای تبادل اطلاعات ارایه می‌کند که پاسخگویی و تصمیم‌گیری را در سراسر زنجیره‌تامین تسهیل می‌کند.	[16]
	یک سیستم سایبری-فیزیکی، سیستم کامپیوتری هوشمند است که قابلیت‌های سنجش، محاسبات، کنترل و شبکه را در اشیا فیزیکی ادغام می‌کند و آن‌ها را به اینترنت و به یکدیگر متصل می‌کند. تفاوت CPS و IOT در این است که جدا از حسگرها و اینترنت، یک CPS شامل اجزایی است که برای محاسبات و کنترل موردنیاز است که سیستم را بسیار کارآمد می‌کند. در مورد تولید هوشمند، CPS را می‌توان در یک کارخانه برای نظارت بر خطوط تولید و مونتاژ، نظارت بر دارایی‌ها، تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی و مدیریت زنجیره‌تامین پیاده‌سازی کرد.	[1]
	محاسبات، شبکه و فرآیندهای فیزیکی همگی در سیستم‌های فیزیکی-سایبری ادغام شده‌اند. رایانه‌ها و شبکه‌ها از حلقه‌های بازخورد برای نظارت و تنظیم فرآیندهای فیزیکی استفاده می‌کنند.	[17]

[1] Blockchain

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
	سیستم‌های سایبر–فیزیکی جزو محرکه‌های اصلی صنعت ۴/۰ در نظر گرفته می‌شوند. CPSth سیستم‌هایی هستند که هر دو مولفه سایبرنتیک و فیزیکی را یکپارچه می‌کنند و به تجهیزات تولیدی اجازه می‌دهند تا قدرت محاسباتی را تعبیه کنند.	[15]
	سیستم‌های سایبرفیزیکی یکی از ویژگی‌های مهم صنعت ۴/۰ است و می‌تواند به‌عنوان یک زیرساخت شبکه جهانی در نظر گرفته شود که دنیای فیزیکی و مجازی را یکپارچه می‌کند. کاربرد CPS با صنعت ۴/۰ پتانسیل رسیدن به هدف نهایی یعنی دستیابی به کارخانه‌های هوشمند را دارد.	[20]
دوقلوی یجیتال	دوقلوی دیجیتال یک نمایش دیجیتال مجازی از یک شی یا فرآیند فیزیکی است. این مفهوم، شبیه‌سازی، یادگیری ماشین و استدلال را برای ایجاد یک تقلید از سیستم کاملا دیجیتالی ترکیب می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، یک دوقلوی دیجیتال یک برنامه کامپیوتری است که از داده‌های واقعی برای پیش‌بینی یا شبیه‌سازی نحوه رفتار یک فرآیند یا شی استفاده می‌کند.	[16]
	صنعت ۴/۰ پیشرفت‌های تکنولوژیکی در هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و رایانش ابری ایجاد کرده است. قدرت نسبی این فناوری‌ها زمینه را برای راه‌حل‌های دوقلوی دیجیتال ایجاد کرد تا به‌سرعت تکامل پیدا کنند و کاربردهایی در زنجیره‌های تولید و تامین پیدا کنند. علاوه بر این، این پیشرفت‌ها به اجرای دقیق دوقلوی دیجیتال برای نظارت و بهینه‌سازی در زمان واقعی فرآیند کمک کرد.	[13]
	دوقلوی دیجیتال توانایی نمایش مجازی یک شی فیزیکی یا یک سیستم است. دوقلوی دیجیتال فقط یک تصویر یا یک نمایش از یک سیستم نیست. بلکه دارای عناصر طراحی، سازنده و عملیاتی است که سیستم فیزیکی از آن برخوردار است. دوقلوی دیجیتال در صنعت تولید به‌ویژه در طراحی محصول بسیار موثر هست زیرا امکان نمونه‌سازی سریع، تغییرات طراحی محصول و توسعه محصول با هزینه کمتر را فراهم می‌کند.	[19]
	دوقلوی دیجیتال مفهوم جدیدی نیست، بلکه سایر اجزا شناخته‌شده قبلی مانند مدل‌سازی سه‌بعدی، شبیه‌سازی‌ها، یا مدیریت چرخه عمر محصول را ادغام می‌کند. این مفهوم را می‌توان به‌عنوان استفاده از بینش‌های مبتنی برداده برای نظارت، مدیریت و بهبود مستمر یک سیستم یا محصول توصیف کرد.	[21]
	یکی از ویژگی‌های صنعت ۴/۰ قابلیت مدیریت کل چرخه عمر یک محصول از ابتدا تا انتها است. این هدف نیازمند برنامه‌ریزی نیازهای اولیه کاربران و استفاده از بازخورد آن‌ها برای بهبود طرح‌های آینده است. فناوری دوقلوی دیجیتال قادر به تحقق این تقاضا در عصر صنعت ۴/۰ شناخته شده است. دوقلو دیجیتال یک نمایش مجازی از یک شی فیزیکی با ارتباط دوطرفه است و داده‌های زنده جسم فیزیکی را منعکس می‌کند.	[22]
ساخت افزایشی[1] و پرینت سه‌بعدی	اگرچه این فناوری در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت، اما در دهه گذشته با پذیرش فناوری‌های دیجیتال و هوشمند در صنایع موردتوجه قرار گرفت. ساخت افزودنی یا افزایشی تکنیکی برای چاپ اجسام جامد سه‌بعدی با ساخت لایه‌ای از مواد بر روی یکدیگر با استفاده از مدل‌های CAD[2] است.	[1]

[1] Additive manufacturing

[2] Computer-Aided Design (Cad)

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continue.

فناوری	شرح	منابع
	ساخت افزایشی (پرینت سه‌بعدی) برای ساخت محصولات سه‌بعدی با افزودن لایه‌هایی از مواد روی‌هم استفاده می‌شود. AM را می‌توان برای تسهیل تولید سریع و بر اساس تقاضا استفاده کرد. شرکت‌ها می‌توانند از AM برای تسریع تولید چندین نمونه اولیه و قطعات پیچیده استفاده کنند که سپس می‌توانند در فرآیند تولید استفاده شوند. AM انعطاف‌پذیری را در طراحی و عملکرد فراهم می‌کند، زیرا اجزا و محصولات مختلف را می‌توان در یک خط تولید کرد و در صورت نیاز به سفارشی‌سازی محصولات دست یافت.	[15]
	با استفاده از پرینت سه‌بعدی که به‌عنوان ساخت افزایشی نیز شناخته می‌شود، اجزای پیچیده با نرخ‌های بی‌سابقه‌ای تولید می‌شوند. درنتیجه این فناوری تحول‌آفرین، اکنون می‌توان قطعات پیچیده و سفارشی‌سازی شده با مقدار بسیار کم ضایعات را در مقایسه با روش‌های تولید سنتی ایجاد کرد. استفاده از پرینت سه‌بعدی نه تنها منجر به تغییر چشم‌انداز تولید شده است، بلکه به فرآیند تولید پایدارتر و کارآمدتر از منابع کمک می‌کند. پرینت سه‌بعدی می‌تواند نمونه‌سازی سریع را انجام دهد که یکی از مزایای کلیدی این فناوری است.	[18]
	ساخت افزایشی مجموعه‌ای از فناوری‌ها است که قادر به اتصال مواد برای ساختن یک مجموعه کامل از داده‌های مدل سه‌بعدی است که با استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری خاص، معمولا لایه به لایه، برخلاف روش‌های تولید تفریق‌کننده توسعه یافته‌اند.	[23]
	ساخت افزایشی شامل مجموعه‌ای از فناوری‌های برقی با ظرفیت جمع‌آوری مواد برای تولید اقلام پیچیده در یک فرآیند یک مرحله‌ای است که نیاز به تجهیزات یا ماشین‌آلات را از بین می‌برد. از منظر زیست‌محیطی، ساخت افزایشی می‌تواند شفافیت مالی و منابع را در طول مرحله تولید به ارمغان آورد.	[24]

۲-۲- زنجیره‌تامین ۴/۰

زنجیره‌تامین ۴/۰ به‌عنوان زنجیره‌تامینی که شامل همکاری نزدیک سهامداران مختلف (به‌عنوان مثال، تامین کنندگان و مشتریان) است و بر اساس فناوری دیجیتال ساخته شده است، از جمله، اما نه محدود به فناوری فعال‌شده تحت وب، رایانش ابری و اینترنت اشیا تعریف شده است. زنجیره‌تامین ۴/۰ را می‌توان به‌عنوان یک اکوسیستم یکپارچه در نظر گرفت که در آن اطلاعات در تمام جهات جریان می‌یابد و همه طرف‌های زنجیره‌تامین را به هم متصل می‌کند. در دیجیتال‌سازی زنجیره‌تامین، بهبود در انتقال و پردازش داده‌ها، چاپ سه‌بعدی و ... محیط تولید را متحول می‌کند [14]. زنجیره‌تامین ۴/۰ یا زنجیره‌تامین هوشمند اصطلاحی است که دگرگونی یک زنجیره‌تامین سنتی را با ادغام فناوری‌های صنعت ۴/۰ نشان می‌دهد [15]. زنجیره‌تامین ۴/۰ از فناوری‌های صنعت ۴/۰ پشتیبانی می‌کند که از طریق داده‌های عظیم و همکاری قوی و همگام‌سازی بین شبکه‌های دیجیتال، نرم‌افزار و سخت‌افزار، زنجیره‌تامین را قدرتمند می‌کند [22].

۲-۳- پیشینه پژوهش

مقالات زیادی حول موضوع انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ به نگارش درآمده است اما علیرغم پژوهش‌های سایر محققان در حوزه انتخاب تامین‌کننده در صنایع ایران تاکنون پژوهشی در ارتباط با نقش فناوری‌ها و مفاهیم صنعت ۴/۰ در زنجیره‌تامین و انتخاب تامین‌کننده در صنایع فولاد ایران انجام نشده است.

جهت جستجوی مقالات از پایگاه‌های اسکوپوس[1]، گوگل اسکالر[2] و وب آو ساینس[3] استفاده شد. محدوده زمانی نتایج جستجو به بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ محدود شده است. از بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ فقط یک مقاله استفاده شده است. نتایج جستجو جهت اطمینان از کیفیت پژوهش‌ها شامل

---

[1] Scopus
[2] Google scholar
[3] Web of science

مقالات کنفرانس‌ها نمی‌شود و سعی شده است تمامی مقالات از ژورنال‌های *Q1* استخراج شوند. به‌منظور استخراج مقالات در پایگاه‌های ذکرشده از کلیدواژه‌های: زنجیره‌تامین ۴/۰، زنجیره‌تامین هوشمند، زنجیره‌تامین صنعت ۴/۰، زنجیره‌تامین دیجیتال، مدیریت زنجیره‌تامین در صنعت ۴/۰، مدیریت زنجیره‌تامین ۴/۰، انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰، انتخاب تامین‌کننده ۴/۰ در صنعت فولاد استفاده شده است. همچنین غربالگری مقالات برای شناسایی ارتباط آن‌ها با پژوهش حاضر با مطالعه عنوان، چکیده، معیارها و نتیجه‌گیری انجام شد. در ادامه به بررسی مهم‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده در صنایع گوناگون با تمرکز بر مفاهیم صنعت ۴/۰ پرداخته شده است.

بو یوکوزکان و گوکر [25] در پژوهشی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه بر اساس تجزیه‌وتحلیل نسبت[1] و اعداد فازی شهودی به انتخاب تامین‌کننده در یک زنجیره‌تامین دیجیتال پرداختند. موردمطالعه این تحقیق یک شرکت عملیاتی فرودگاهی در کشور ترکیه بوده است. در این پژوهش معیارهای اطلاعات به اشتراک گذاشته‌شده و عدم مشتری مداری بیشترین اهمیت رو نسبت به سایر معیارها داشته‌اند. قدیمی و همکاران [26]، به انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ با استفاده از سیستم‌های چندعاملی پرداختند و مدل به‌دست‌آمده در یک شرکت سازنده تجهیزات پزشکی به کار بردند. این مدل از تعاملات انسانی کمتری بهره می‌برد و سرعت بیشتری در پاسخگو یی دارا می‌باشد.

لیائو و همکاران [27] به‌منظور انتخاب تامین‌کننده دیجیتال مالی زنجیره‌تامین از تلفیق روش بهترین-بدترین به‌منظور وزن دهی به معیارها و ارزیابی نسبت جمعی[2] برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان در محیط فازی مردد استفاده کردند. در این پژوهش دو معیار آستانه تامین مالی و انعطاف‌پذیری بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. بو یوکوزکان و گوکر [28] جهت انتخاب تامین‌کننده در زنجیره‌تامین دیجیتال از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی در صنعت هوایی ترکیه استفاده کردند. هز ینه سرمایه‌گذاری و پشتیبانی حرفه‌ای نسبت به سایر معیارها در این پژوهش برتری داشتند.

ازبک و ایلدیز [29] برای انتخاب تامین‌کننده دیجیتال در صنعت نسل ۴/۰ پوشاک از روش *TOPSIS*[3] فازی بازه‌ای نوع ۲ که می‌تواند عدم قطعیت را به خو بی در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مدل‌سازی کند، استفاده کردند. در این مطالعه برای وزن دهی به ۵ معیار اصلی و ۲۰ زیرمعیار آن از ۱۱ سناریو استفاده شده است. چن و همکاران [30] به‌منظور ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده هوشمند، از دیمتل[4] راف فازی جهت وزن دهی به معیارها و از *TOPSIS* راف فازی به‌منظور رتبه‌بندی تامین‌کنندگان پرداختند. این پژوهش در صنعت انتقال خودروهای انرژی جدید انجام شده است. معیارهای کاهش هز ینه‌ها با استفاده از فناوری‌های هوشمند، طراحی سبز به روش دیجیتال و تولید سبز و هوشمند از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی در این پژوهش بوده‌اند.

حسن و همکاران [31] پژوهشی برای انتخاب تامین‌کننده انعطاف‌پذیر در صنعت ۴/۰ انجام دادند. در این پژوهش با استفاده از ۱۹ معیار و *TOPSIS* فازی به رتبه‌بندی تامین‌کنندگان پرداخته شد و سپس از با استفاده از این اطلاعات به‌عنوان ورودی یک مدل برنامه‌ریزی هدف چند انتخابی مقدار تخصیص بهینه به هر یک از تامین‌کنندگان محاسبه شد. کلیک [32] پژوهشی به‌منظور ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده سبز در صنعت ۴/۰ در یک کارخانه ابزار و ماشین‌آلات کشاورزی انجام داد. جهت وزن‌دهی به معیارها از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی و برای رتبه‌بندی از *TOPSIS* با کمک مجموعه‌های فازی فیثاغورثی استفاده شد. معیار کیفیت ۴/۰، سطح خدمات و سیستم‌های فیزیکی-سایبری نسبت به سایر معیارها وزن بالاتری در این پژوهش به خود اختصاص دادند.

وانگ و همکاران [33] در پژوهشی به‌منظور ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده در صنعت چرم و کفش با توجه به مولفه‌های صنعت ۴/۰ از روش اولو یت ترتیبی[5] جهت وزن‌دهی به معیارها و از روش سنجش و رتبه‌بندی گز ینه‌ها بر اساس راه‌حل سازشی[6] در محیط فازی استفاده کردند. معیارهای تصو یر سبز، نوآوری محصول سبز، محاسبات ابری، سطح خدمات و بلاکچین بالاترین اهمیت را نسبت به سایر معیارها داشتند. حسینی دولت‌آباد و همکاران [4] پژوهشی جهت ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ یک شرکت تولیدکننده دستگاه‌های تهو یه مطبوع انجام دادند. در این

---

[1] Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA)
[2] Additive Ratio Assessment (ARAs)
[3] Technique for order of preference by similarity to ideal solution
[4] Dematel
[5] Order Priority Approach (Opa)
[6] Measurement Alternatives and Ranking According to Compromise Solution (MARCOS)

پژوهش برای وزن دهی به معیارها از نقشه شناخت فازی استفاده کردند و جهت ارزیابی تامین‌کنندگان از ویکور[1] فازی مردد بهره بردند. در این پژوهش سه معیار بهبود کیفیت با استفاده از فناوری‌های هوشمند، قابلیت فناوری و تولید سبز و هوشمند بالاترین وزن را نسبت به سایر معیارها داشتند.

فروزش‌نژاد [34] پژوهشی به‌منظور ارزیابی بهترین تامین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در صنعت ۴/۰ انجام داد. به‌منظور وزن‌دهی به معیارها از روش بهترین-بدترین راف فازی و برای رتبه‌بندی از روش تخمین مقایسه سطوح مبتنی بر بردار چندشاخصه[2] استفاده شده است. مهم‌ترین معیارها در این پژوهش عبارتند از انعطاف در تولید، هزینه و کیفیت. کوسی-سارپونگ و همکاران [35] پژوهشی برای بررسی و انتخاب تامین‌کننده در صنایع نساجی با توجه به صنعت ۴/۰ انجام دادند. جهت وزن‌دهی به معیارها روش بهترین-بدترین و رتبه‌بندی تامین‌کنندگان از *TOPSIS* استفاده شده است. فرهنگ سازمانی مثبت نسبت به اجرای ابتکارات صنعت۴/۰ ، تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری و ابتکارات تحقیق و توسعه برای صنعت ۴/۰ از مهم‌ترین معیارها در این پژوهش بوده‌اند.

پارسا راد و همکاران [36] در پژوهشی به انتخاب تامین‌کننده در صنایع نفت و گاز پرداختند. برای وزن دهی به معیارها از روش بهترین-بدترین فازی و به‌منظور رتبه‌بندی تامین‌کنندگان از *COCOSO*[3] خاکستری استفاده شده است. نتایج این پژوهش حاکی از این بود که معیارهای قیمت، روش تسو یه‌حساب و تجربه در پروژه‌های مشابه بیشترین اهمیت را نسبت به سایر معیارها داشته‌اند. شیخی زاده و همکاران [37] پژوهشی به‌منظور ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده در زنجیره دارویی با توجه به نقش معیارهای ناب، چابک، انعطاف‌پذیر و سبز انجام دادند. هدف این پژوهش مقایسه نتایج فعلی با نتایج پژوهش‌های قبل از همه‌گیری کووید-۱۹ بوده است. جهت محاسبه وزن معیارها از روش بهترین-بدترین فازی و به‌منظور رتبه‌بندی تامین‌کنندگان زنجیره دارویی از روش ارزیابی نسبت جمعی در این پژوهش استفاده شده است. از مهم‌ترین معیارهای مورد استفاده در این پژوهش می‌توان از کیفیت، همکاری، ذخیره اطمینان(احتیاطی)، زمان تاخیر و هزینه می‌توان اشاره نمود.

با ظهور فناوری‌های صنعت ۴/۰، تاثیرات عمیقی بر زنجیره‌های تامین در صنایع مختلف به‌ویژه در فرآیند انتخاب تامین‌کننده ایجاد شده است. تاکنون پژوهش‌های متعددی در سطح جهانی در زمینه شناسایی معیارهای تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ انجام شده است؛ اما در ادبیات تحقیقاتی موجود چندین شکاف و کاستی قابل‌توجه است. در سطح بین‌المللی، پژوهش‌هایی در زمینه انتخاب تامین‌کننده در صنایع مختلف با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴/۰ انجام شده است؛ اما به‌رغم اهمیت صنعت فولاد به‌عنوان یک صنعت استراتژیک در ایران، تاکنون تحقیقات کمی وجود دارد که به‌طور خاص معیارهای انتخاب تامین‌کننده در این صنعت را با توجه به مفاهیم و فناوری‌های صنعت ۴/۰ بررسی کرده باشد.

به‌ویژه، در ایران شکاف قابل‌توجهی در استفاده از رویکردهای نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره در این حوزه وجود دارد. با وجود مطالعات متعدد در زمینه انتخاب تامین‌کننده در صنایع مختلف، نقش دقیق فناوری‌های نوین همچون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و همکاری دیجیتال در زنجیره‌تامین صنعت فولاد کمتر موردبررسی قرار گرفته است. بسیاری از تحقیقات به فناوری‌های مرتبط با تولید پرداخته‌اند، اما تاثیر این فناوری‌ها بر زنجیره‌تامین و به‌طور خاص انتخاب تامین‌کننده در ایران به‌خوبی تبیین نشده است. یکی دیگر از شکاف‌های موجود در ادبیات تحقیق، نیاز به توسعه و به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت است. بیشتر روش‌های سنتی تصمیم‌گیری توانایی کافی برای مدیریت پیچیدگی و عدم قطعیت موجود در زنجیره‌های تامین صنعت ۴/۰ را ندارند. استفاده از روش‌های فازی دلفی و فوکام فازی در این پژوهش به‌عنوان یک پاسخ به این شکاف محسوب می‌شود. پس از بررسی پژوهش‌های پیشین و مطالعات انجام‌شده در این حوزه ۱۹۵ معیار به دست آمد که با حذف معیارهای تکراری و دارای همپوشانی ۲۷ معیار به دست آمد که در **جدول ۲** ارایه شده است.

---

[1] Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)

[2] Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (Mabac)

[3] Combined compromise solution

جدول ۲- معیارهای انتخاب تامین‌کننده با توجه به فناوری‌های صنعت ۴/۰.
Table 2- Supplier selection criteria according to Industry 4.0 technologies.

معیار	شرح	منبع/منابع
نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا	اینترنت اشیا با ارایه شفافیت و ردیابی بی‌درنگ، به بهبود مدیریت موجودی، کیفیت محصول و کارایی عملیاتی کمک می‌کند.	[29]، [32]، [33]، [35]
رایانش ابری	رایانش ابری سرویسی است که بدون در نظر گرفتن تعداد کاربران و دستگاه‌ها، استفاده مشترک از سرورهای اینترنتی را برای ذخیره، مدیریت و پردازش داده‌ها ارایه می‌دهد.	[29]، [32]، [33]
هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی	یادگیری ماشینی به برنامه‌های برنامه‌نویسی اشاره دارد که در تفسیر نتایج و سپس جمع‌آوری داده‌های ورودی و انجام ارزیابی‌های مرتبط برای پیش‌بینی بازدهی با ورودی‌های فعلی یا جدید در نظر گرفته شده‌اند. هوش مصنوعی به یک کامپیوتر الکترونیکی یا ربات کنترل‌شده توسط رایانه شخصی اشاره دارد که می‌تواند توانایی استدلال، کشف اساسی، خلاصه‌نویسی یا به دست آوردن از درک قبلی را نشان دهد.	[33]
تجزیه‌وتحلیل کلان داده	تجزیه‌وتحلیل کلان داده اجازه می‌دهد تا مقادیر زیادی از داده‌های پردازش نشده که توسط دستگاه‌های هوشمند و ماشین‌های هوشمند تولیدشده را تجزیه‌وتحلیل کند.	[30]، [32]
نوآوری دیجیتال	نوآوری دیجیتال، ایجاد تحول بنیادین در تولید محصولات، ارایه خدمات یا فرایندهای کاری با استفاده از فناوری دیجیتالی است.	[28]
پرینت ۳ بعدی و واقعیت افزوده	پرینت سه‌بعدی که ساخت افزایشی نیز نامیده می‌شود، تبدیل اجسام سه‌بعدی در محیط کامپیوتر به اجسام فیزیکی است. واقعیت افزوده باعث می‌شود تا اشیا مجازی در یک محیط واقعی قرار بگیرند. به عبارتی ترکیب هم‌زمان محیط واقعی با اطلاعات و تصاویر مجازی مفهوم تکنولوژی واقعیت افزوده را روشن می‌کند.	[29]، [32]، [33]
تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری	این معیار شامل ماشین‌های هوشمند، سیستم‌های انبارداری و امکانات تولید است که به‌صورت دیجیتالی توسعه یافته‌اند و از یکپارچه‌سازی مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات بهره می‌برند.	[30]، [35]
همکاری دیجیتال	همکاری دیجیتالی فرآیندی است که در آن تیم‌ها از طریق پلتفرم‌های آنلاین با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند، اطلاعات را به اشتراک می‌گذارند و روی پروژه‌ها همکاری می‌کنند.	[28]، [27]
شبکه مشارکتی برای صنعت ۴/۰	این معیار به همکاری بین صنایع مختلف برای به اشتراک‌گذاری فناوری‌ها، ماشین‌آلات، تحقیق و توسعه مشترک مربوط به صنعت ۴/۰ اشاره دارد.	[35]
امنیت سایبری	سطح تامین‌کننده از نظر به‌کارگیری سیستم‌های امنیت سایبری برای حفاظت از اطلاعات و داده‌ها	[31]، [34]

جدول ۲- ادامه.
Table 2- Continue.

معیار	شرح	منبع/منابع
مدیریت هوشمند ضایعات	مدیریت هوشمند ضایعات بر حل مشکلات مدیریت ضایعات با استفاده از حسگرها و سیستم‌های نظارت هوشمند تمرکز دارد.	[26]، [4]، [34]
لجستیک هوشمند	شامل تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی، هواپیماهای بدون سرنشین، وسایل نقلیه حمل‌ونقل خودکار و سایر فناوری‌های نوآورانه می‌باشد.	[30]، [4]
فناوری نظارت و جایگذاری خودکار مواد	استفاده از دستگاه‌ها و ربات‌های کامپیوتری به‌جای نیروی انسانی برای حرکت، بلند کردن، کشیدن، فشار دادن و نگهداری محصولات.	[29]، [32]، [33]
زمان تاخیر	زمانی که تامین‌کننده برای تحویل کالا صرف می‌کند از لحظه ثبت سفارش تا لحظه تحویل آن.	[31]، [34]، [37]
برنامه‌ریزی و کنترل هوشمند	استفاده از تکنیک‌های داده محور و تصمیم‌گیری پیشرفته برای انجام عملیات زمان‌بندی و کنترل در زنجیره‌تامین.	[35]
قیمت	قیمت هر واحد کالا	[30]، [4]، [36]
سطح فناوری	سطح فناوری تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ نشان‌دهنده توانایی او در استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، کلان داده و رباتیک است. این امر موجب بهبود کارایی، کیفیت و انعطاف‌پذیری در فرآیندهای تولید و زنجیره‌تامین می‌شود.	[26]، [28]، [4]
نرم‌افزارهای موبایل	نرم‌افزارهای موبایل در صنعت ۴/۰ با ارایه دسترسی بی‌درنگ به داده‌ها و اطلاعات، به بهبود هماهنگی و مدیریت فرآیندها کمک می‌کنند.	[29]
شهرت	شهرت تامین‌کننده نشان‌دهنده اعتبار و اعتمادپذیری او در بازار است. تامین‌کنندگان با شهرت بالا معمولا کیفیت بهتر، خدمات برتر و پایبندی بیشتری به تعهدات دارند که به کاهش ریسک و افزایش رضایت مشتری منجر می‌شود.	[26]، [28]، [36]
محیط کار هوشمند	فراهم کردن شرایط کاری هوشمند برای محیطی ایمن و سالم.	[30]
کیفیت ۴/۰	کیفیت ۴/۰ وضعیت ساختارها و فرآیندهای کارخانه‌ای توسعه‌یافته دیجیتال است که با استفاده از داده‌های بلادرنگ از فناوری‌های صنعت ۴/۰، بهره‌وری و انعطاف‌پذیری را در کارخانه‌ها و زنجیره‌تامین افزایش می‌دهد.	[32]
کیفیت	کیفیت تامین‌کننده نشان‌دهنده توانایی او در ارایه محصولات و خدمات با استانداردهای بالا و پایدار است.	[27]، [30]، [34]، [36]، [37]
بلاکچین	بلاکچین با ایجاد شفافیت و امنیت در تبادل اطلاعات، به بهبود ردیابی و اعتبارسنجی در زنجیره‌تامین کمک می‌کند. این فناوری امکان کاهش تقلب، افزایش اعتماد بین شرکا و بهبود کارایی و دقت در مدیریت تراکنش‌ها را فراهم می‌آورد.	[33]

جدول ۲- ادامه.
Table 2- Continue.

معیار	شرح	منبع/منابع
روش تسویه‌حساب	روش تسویه‌حساب در صنعت ۴/۰ با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، فرایند پرداخت را خودکار و شفاف می‌کند. این روش به تسهیل مدیریت مالی، کاهش خطاها و افزایش اعتماد بین تامین‌کنندگان و خریداران کمک می‌کند.	[36]
طراحی سبز به روش دیجیتال	استفاده از فناوری دیجیتال برای بهبود طراحی محیط‌زیست، به‌عنوان‌مثال، ساخت دوقلوهای دیجیتال چرخه عمر محصول با اطلاعات سبز جاسازی‌شده؛ ادغام اطلاعات مربوط به مصرف انرژی، انتشار، آلودگی و نگهداری در فرآیند طراحی به‌منظور طراحی محصولات با مصرف انرژی کاهش یافته است.	[30]، [37]
استانداردسازی فرآیند و اتوماسیون	استانداردسازی فرآیند و اتوماسیون در صنعت ۴/۰ به معنای تعیین الگوها و رویه‌های استاندارد برای اجرای فرآیندها و سپس اتوماسیون این فرآیندها با استفاده از فناوری‌های پیشرفته است.	[29]
مدیریت اطلاعات	توانایی به دست آوردن، ذخیره، بازیابی، پردازش و به اشتراک‌گذاری اطلاعات در موردتقاضا و نوسانات زمان تحویل، تغییر در قیمت.	[31]، [34]

۳- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از منظر هدف تحلیلی، نتایج کاربردی و از نظر گردآوری اطلاعات لازم آن، در دسته پژوهش‌های توصیفی-پیمایشی قرار دارد به این دلیل که به شناسایی و توصیف معیارهای ارزیابی تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ و فولاد ایران می‌پردازد. در پژوهش حاضر از روش مطالعه میدانی برای توزیع پرسشنامه در میان خبرگان صنعت فولاد و صنعت ۴/۰ به‌منظور تایید معیارهای به‌دست‌آمده از ادبیات موضوع و همچنین رتبه‌بندی آنان استفاده شده است. جهت تایید این معیارها از روش دلفی فازی و به‌منظور وزن‌دهی به معیارها از روش تصمیم‌گیری فوکام یا سازگاری کامل فازی استفاده شده است.

۳-۱- دلفی فازی

هدف روش دلفی دستیابی به اجماع بین متخصصان در مورد یک موضوع خاص با استفاده از چندین دور پرسشنامه ناشناس برای جمع‌آوری داده‌ها از گروهی از کارشناسان انتخاب‌شده دارای دانش و تجربه حرفه‌ای در حوزه مشخص است. روش سنتی دلفی دارای نقاط ضعف آشکاری از جمله ابهام و ماهیت زمان بر آن است.

برای غلبه بر این کاستی‌ها، دلفی فازی با ترکیب نظریه فازی و روش دلفی توسعه داده شد. به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری گروهی، دلفی فازی دارای ویژگی‌هایی مانند ناشناس بودن، اجماع، کنترل بازخورد و ادغام پاسخ‌های گروه آماری تحت اولویت زبان است و در پیش‌بینی نتایج ارزش زیادی دارد [38]. مراحل لازم برای اجرای روش دلفی فازی به شرح زیر است [39]:

گام ۱- مطالعه ادبیات انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ جهت شناسایی و گردآوری معیارها

گام ۲- معیارهای شناسایی‌شده در گام قبل در این مرحله جهت تعیین مرتبط بودن با صنعت ۴/۰ و صنعت فولاد در ایران از طریق پرسشنامه دلفی فازی بررسی می‌شوند. در این پژوهش از عبارت‌های کلامی مطابق **جدول ۳** به‌منظور بیان اهمیت هر معیار استفاده شده است. در این تحقیق اعداد مثلثی فازی به علت سهولت در فهم و استفاده بیشتر پژوهشگران، انتخاب شده است. $F=(l, m, u)$ یک عدد فازی است، کران پایین که با l نشان

داده می‌شود کمینه مقداری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند، کران بالا که با u نشان داده می‌شود بیشینه مقداری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند و مقدار m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است.

جدول ۳- اعداد فازی مثلثی طیف لیکرت ۵ درجه‌ای.
Table 3- Triangular fuzzy numbers of the 5-degree Likert scale.

متغیر کلامی	عدد فازی		
	l	m	u
خیلی کم-VL	0	0	0.25
کم-L	0	0.25	0.5
متوسط-M	0.25	0.5	0.75
زیاد-H	0.5	0.75	1
خیلی زیاد-VH	0.75	1	1

گام ۳- تعیین معیارهای نهایی ارزیابی تامین‌کنندگان صنعت ۴/۰ فولاد ایران است که در این مرحله وزن هر معیار با مقدار آستانه مقایسه می‌شود و در صورت بیشتر بودن از مقدار آستانه آن معیار تایید می‌شود. وزن هر معیار از **رابطه (۱) و رابطه (۲)** به دست می‌آید.

$$a_{ij} = \left(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}\right)\ for\ i = 1 \dots n; j = 1 \dots m. \qquad (۱)$$

$$\tau_j = \left(l_j, m_j, u_j\right) = \left(min\{l_{ij}\}, \left(\prod_{i=1}^{n} m_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}, max\{u_{ij}\}\right), \qquad (۲)$$

که در این روابط i فرد خبره و n تعداد خبرگان، j معیار و m تعداد معیارها، a ارزش فازی هر معیار توسط خبره و τ میانگین ارزش فازی هر معیار می‌باشد. با استفاده از **رابطه (۳)**، میانگین فازی معیارها به روش مرکز ثقل، دی‌فازی می‌شود.

$$crisp\ value = \frac{l + m + u}{3}. \qquad (۳)$$

اگر مقدار دی فازی شده از مقدار آستانه بالاتر باشد معیار تایید می‌شود و در غیر این صورت آن معیار مورد تایید خبرگان قرار نگرفته است. مقدار آستانه از روش‌های بسیاری محاسبه می‌شود و بستگی به نظر پژوهشگر و خبرگان دارد اما یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها میانگین ارزش تمامی معیارها می‌باشد.

۲-۳- فوکام فازی

روش فوکام توسط پاموکار و همکاران [40] در سال ۲۰۱۸ معرفی شد. مزایای اصلی روش فوکام عبارتند از ۱- امکان مقایسه زوجی معیارهای ارزیابی را نه تنها از طریق استفاده از اعداد صحیح، بلکه با استفاده از مقادیر اعشاری نیز فراهم می‌کند، ۲- از الگوریتمی ساده برای به دست آوردن وزن معیارها استفاده می‌کند و۳- به‌منظور تعیین وزن معیارها به تعداد کمتری از مقایسه‌های زوجی نیاز دارد.

مدل‌های ذهنی برای تعیین وزن‌ها بر اساس مقایسه زوجی معیارها به تصمیم‌گیرندگان نیاز دارند تا میزان تاثیر معیار i را بر معیار j تعیین کنند. میزان تاثیر معیار i بر معیار j به‌عنوان مقدار مقایسه (aij) ارایه می‌شود. ازآنجایی‌که مقادیر به‌دست‌آمده از مقایسه aij بر اساس اندازه‌گیری‌های دقیق نیست، بلکه بر اساس برآوردهای ذهنی است، ابهامات موجود را می‌توان از طریق اعداد فازی بیان کرد. مقیاس‌های زبانی بیشتر برای مقایسه دو عامل استفاده می‌شود [41]. بر اساس ساختار اصلی روش فوکام، گسترش مدل سنتی در یک محیط فازی توسط پاموکار و همکاران [41] در سال ۲۰۲۱ معرفی شده است. الگوریتم فوکام فازی در گام‌های زیر قابل اجرا است.

گام ۱- معیارهای ارزیابی به‌صورت یک مجموعه $C = \{C1, C2, \dots, Cn\}$ تعیین می‌شود.

گام ۲- در این گام باید معیارهای ارزیابی رتبه‌بندی شوند. تصمیم‌گیرنده‌ها ابتدا رتبه معیارها را بر اساس نظرات و ترجیحات خود در مورد اهمیت معیارها شناسایی می‌کنند. رتبه اول به عاملی که انتظار می‌رود بیشترین ضریب وزنی را داشته باشد اختصاص می‌یابد و به همین ترتیب به سمت آخرین جایگاه که در اختیار معیاری است که انتظار داریم کمترین مقدار ضریب وزنی را داشته باشد حرکت می‌شود. بدین ترتیب، رتبه‌بندی معیارها

جمع‌آوری می‌شود؛ یعنی $Cj(1) > Cj(2) > \dots > Cj(k)$ که در آن k نشان‌دهنده رتبه معیار است. اگر دو یا چند معیار دارای رتبه یکسانی باشند، علامت برابری (=) بین معیارها به‌جای (>) قرار می‌گیرد.

گام ۳- معیارها با استفاده از یک عدد فازی مثلثی باهم مقایسه می‌شوند. عبارات کلامی و اعداد فازی متناظر با آن طبق **جدول ۴** به کار برده می‌شود.

جدول ۴- مقیاس کلامی فازی.
Table 4- Fuzzy linguistic scale.

متغیر کلامی	عدد فازی		
	l	m	u
اهمیت یکسان-EI	1	1	1
اهمیت کم-LI	0.67	1	1.5
نسبتا مهم-FI	1.5	2	2.5
خیلی مهم-VI	2.5	3	3.5
کاملا مهم-AI	3.5	4	4.5

مقایسه براساس معیاری رتبه اول انجام می‌گیرد؛ بنابراین اهمیت معیار فازی $\varpi_{C_{j(k)}}$ برای تمامی معیارها به دست می‌آید. ازآنجایی‌که مهم‌ترین معیار با خودش مقایسه می‌شود، یک مقایسه n-1 از معیارهای باقی‌مانده باید انجام شود. بر اساس معنی‌داری تعریف‌شده معیارها، اهمیت مقایسه‌ای فازی $\varphi_{k/(k+1)}$ با اعمال **رابطه (۴)** تعیین می‌شود.

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{\varpi_{C_{j(k+1)}}}{\varpi_{C_{j(k)}}} = \frac{\left(\varpi^{l}_{C_{j(k+1)}}, \varpi^{m}_{C_{j(k+1)}}, \varpi^{u}_{C_{j(k+1)}}\right)}{\left(\varpi^{l}_{C_{j(k)}}, \varpi^{m}_{C_{j(k)}}, \varpi^{u}_{C_{j(k)}}\right)}. \qquad (۴)$$

بنابراین، یک بردار فازی از اهمیت نسبی معیارهای تصمیم‌گیری از طریق **رابطه (۵)** به دست می‌آید.

$$\Phi = \left(\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots \varphi_{k/(k+1)}\right). \qquad (۵)$$

در این رابطه $\varphi_{k/(k+1)}$ نشان‌دهنده اهمیتی است که معیار رتبه $C_{j(k)}$ بر اساس ضریب رتبه $C_{j(k+1)}$ دارد.

گام ۴- وزن فازی معیارها $(\widetilde{w}_1, \widetilde{w}_2, \dots, \widetilde{w}_n)^T$ محاسبه می‌شود. مقادیر نهایی وزنی باید دارای شرایط زیر باشد.

شرط ۱: نسبت وزن معیارهای مشاهده‌شده $C_{j(k)}$ و $C_{j(k+1)}$ باید برابر با اهمیت مقایسه‌ای آن‌ها $\varphi_{k/(k+1)}$ باشد که در گام ۲ تعریف شده است، در **رابطه (۶)** به‌صورت زیر عمل می‌کنیم.

$$\frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}. \qquad (۶)$$

شرط ۲: علاوه بر شرایط تعریف‌شده توسط شرط قبل، مقادیر نهایی وزنی باید انتقال‌پذیری را نیز برآورده کند؛ یعنی

$$\varphi_{k/(k+1)} \otimes \widetilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}, \quad \frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+1}} \otimes \frac{\widetilde{w}_{k+1}}{\widetilde{w}_{k+2}} = \frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+2}}.$$

بنابراین، شرط دیگری که باید توسط مقادیر نهایی وزنی برآورده شود، به صورت **رابطه (۷)** به‌دست می‌آید.

$$\frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}. \qquad (۷)$$

سازگاری کامل یعنی χ=0، تنها در صورتی برآورده می‌شود که انتقال‌پذیری بین ضرایب وزنی کاملا برآورده شود. پس می‌توان گفت وقتی $\frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+1}} - \widetilde{\varphi}_{k/(k+1)} = 0$ و $\frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+2}} - \widetilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \widetilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)} = 0$ سازگاری کامل برقرار است. برای احراز این شرایط لازم است مقدار وزنی معیارها $(\widetilde{w}_1, \widetilde{w}_2, \dots, \widetilde{w}_n)^T$ را طوری تعیین کنیم که شروط $\left|\frac{\widetilde{w}_k}{\widetilde{w}_{k+1}} - \widetilde{\varphi}_{k/(k+1)}\right| \leq \chi$ و $\left|\widetilde{w}^{\widetilde{w}_k}_{w_{k+2}} - \widetilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \widetilde{\varphi}_{(k+1)/(k+2)}\right| \leq \chi$ با به حداقل رساندن χ برآورده شوند.

بر اساس شرایط تعریف‌شده، مدل خطی نهایی برای تعیین مقادیر فازی بهینه ضرایب وزنی فاکتورها را می‌توان به‌صورت **رابطه (۸)** تنظیم کرد.

$$\min \chi$$

$$s.t.$$

$$\begin{cases} \left|\widetilde{w}_k - \widetilde{w}_{k+1} \otimes \varphi_{k/(k+1)}\right| \le \chi, for\ all\ j, \\ \left|\widetilde{w}_k - \widetilde{w}_{k+2} \otimes \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}\right| \le \chi, for\ all\ j, \\ \sum_{j=1}^{n} \widetilde{w}_j = 1, for\ all\ j, \\ w_j^l \le w_j^m \le w_j^u, \\ w_j^l \ge 0, for\ all\ j, \\ j = 1,2, \dots, n, \end{cases} \quad (۸)$$

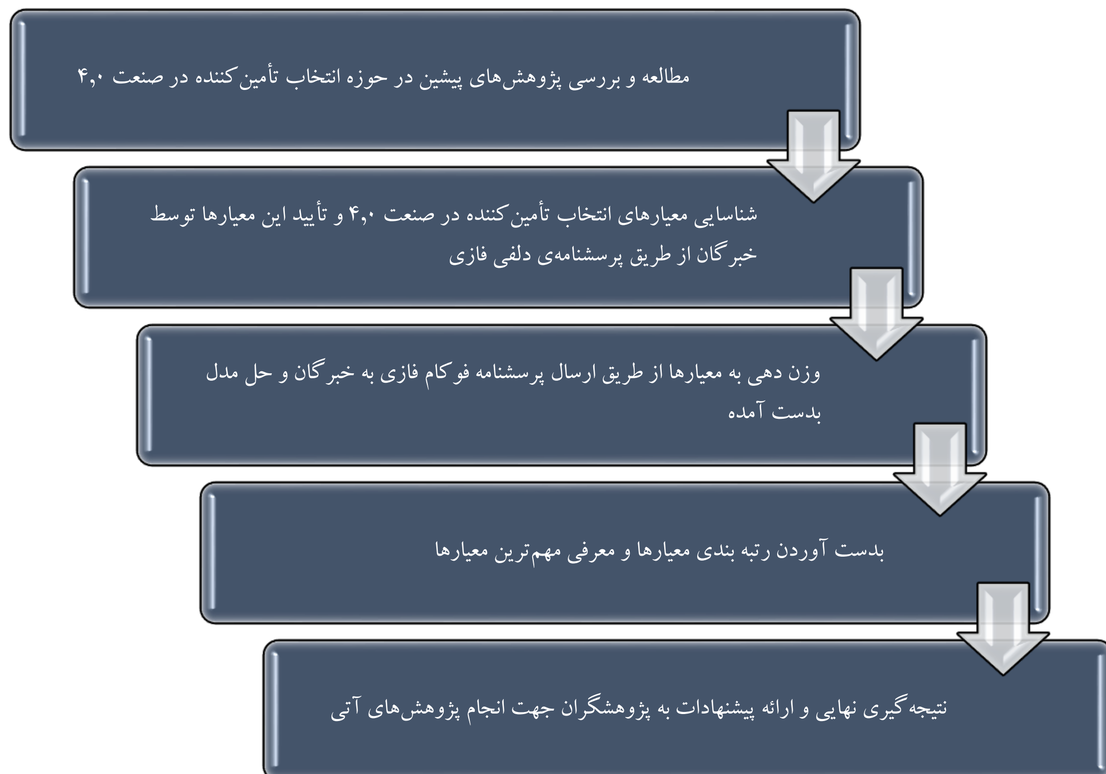
که در این مدل $\widetilde{w}_j = \left(w_j^l, w_j^m, w_j^u\right)$ و $\varphi_{k/(k+1)} = \left(\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u\right)$.

پس از یافتن وزن‌های فازی، وزن دی‌فازی شده معیارها با استفاده از **رابطه (۹)** به دست می‌آید.

$$w_j = \frac{w_j^l + 4w_j^m + w_j^u}{6}. \quad (۹)$$

۳-۳- مراحل انجام پژوهش

مراحل انجام پژوهش به‌صورت خلاصه در **شکل ۱** آورده شده است.



شکل ۱- گام‌های انجام پژوهش.
Figure 1- Research steps.

۴- یافته‌های پژوهش

پس از به دست آوردن معیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان با توجه به پژوهش‌های پیشین (**جدول ۲**)، برای ارزیابی این معیارها توسط خبرگان با روش دلفی فازی پرسشنامه مربوطه طرح شد.

جهت انجام دلفی فازی حداقل به ۵ خبره نیاز است. بین ۵ تا ۲۰ خبره کافی می‌باشد و در صورت دسترس بودن خبره‌ها بهتر است از تعداد بیشتری استفاده شود [42]. این پرسشنامه بین ۷ نفر از خبرگان صنعت فولاد و صنعت ۴٫۰ توزیع و پاسخ‌ها جمع‌آوری شد. پس از طی ۲ مرحله به دلیل اینکه اختلاف مقدار دی‌فازی معیارهای دو مرحله کمتر از ۰/۲ بود فرآیند ارسال پرسشنامه متوقف شد [43]. با توجه در نظر گرفتن مقدار آستانه که میانگین دی‌فازی شده معیارها و برابر با ۰/۵۷۹۳ می‌باشد از ۲۷ معیار اولیه ۱۶ معیار مورد تایید خبرگان قرار گرفت که در **جدول ۵** به نمایش درآمده است.

جدول ۵- تحلیل پرسشنامه دلفی فازی برای هر معیار.
Table 5- Fuzzy Delphi questionnaire analysis for each criterion.

معیار	میانگین فازی			مقدار دی‌فازی	وضعیت معیار
	u	m	l		
نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا	1	0.7252	0.25	0.6584	تاییدشده
رایانش ابری	1	0.5949	0.25	0.6150	تاییدشده
هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی	1	0.696	0.25	0.6487	تاییدشده
تجزیه‌وتحلیل کلان داده	1	0.5709	0.25	0.6070	تاییدشده
نوآوری دیجیتال	1	0.6568	0.25	0.6356	تاییدشده
پرینت ۳ بعدی و واقعیت افزوده	1	0.4346	0	0.4782	رد شده
تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری	1	0.6198	0.25	0.6233	تاییدشده
همکاری دیجیتال	1	0.7131	0.25	0.6544	تاییدشده
شبکه مشارکتی برای صنعت ۴٫۰	1	0.3937	0	0.4646	رد شده
امنیت سایبری	1	0.6568	0.25	0.6356	تاییدشده
مدیریت هوشمند ضایعات	1	0.4605	0	0.4868	رد شده
لجستیک هوشمند	1	0.7252	0.25	0.6584	تاییدشده
فناوری نظارت و جایگذاری خودکار مواد	0.75	0.3715	0	0.3738	رد شده
زمان تاخیر	1	0.7556	0.25	0.6685	تاییدشده
برنامه‌ریزی و کنترل هوشمند	1	0.5709	0	0.5236	رد شده
قیمت	1	0.696	0.25	0.6487	تاییدشده
سطح فناوری	1	0.5085	0	0.5028	رد شده
نرم‌افزارهای موبایل	1	0.6198	0	0.5399	رد شده
شهرت	1	0.3937	0	0.4646	رد شده
محیط کار هوشمند	1	0.4171	0	0.4724	رد شده
کیفیت ۴٫۰	1	0.5085	0	0.5028	رد شده
کیفیت	1	0.7684	0.25	0.6728	تاییدشده
بلاکچین	1	0.6844	0.25	0.6448	تاییدشده
روش تسویه‌حساب	1	0.6568	0.25	0.6356	تاییدشده
طراحی سبز به روش دیجیتال	1	0.3937	0	0.4646	رد شده
استانداردسازی فرآیند و اتوماسیون	1	0.6198	0.25	0.6233	تاییدشده
مدیریت اطلاعات	1	0.6568	0.25	0.6356	تاییدشده

به‌منظور تسهیل تصمیم‌گیری، تمرکز بر اولویت‌ها و ارزیابی جامع‌تر، معیارها به ۴ دسته فناوری‌های هوشمند و دیجیتال، کیفیت و عملکرد، کارایی و هزینه‌ها و انعطاف‌پذیری و پاسخگویی تقسیم گردیدند که در **جدول ۶** به نمایش درآمده است.

جدول ۶- دسته‌بندی معیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان در صنعت ۴/۰ و صنعت فولاد.
Table 6- Classification of supplier evaluation criteria in industry 4.0 and steel industry.

معیار	نماد معیار	زیر معیار	نماد زیرمعیار
فناوری‌های هوشمند و دیجیتال	C1	نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا	C11
		رایانش ابری	C12
		هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی	C13
		تجزیه‌وتحلیل کلان داده	C14
		نوآوری دیجیتال	C15
		لجستیک هوشمند	C16
		بلاکچین	C17
کیفیت و عملکرد	C2	زمان تاخیر	C21
		کیفیت	C22
		استانداردسازی فرآیند و اتوماسیون	C23
کارایی و هزینه‌ها	C3	قیمت	C31
		روش تسویه‌حساب	C32
		مدیریت اطلاعات	C33
انعطاف‌پذیری و پاسخگویی	C4	تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری	C41
		همکاری دیجیتال	C42
		امنیت سایبری	C43

به‌منظور وزن دهی به معیار از ۳ نفر کارشناسان صنعت ۴/۰ خواسته شد تا با استفاده از روش فوکام فازی ترتیب اولو یت‌های هر معیار را مشخص کنند. برای به دست آوردن وزن معیار نیاز می‌باشد که ۵ مدل حل شود.

۱- شناسایی وزن‌های محلی C1، C2، C3 و C4.
۲- شناسایی وزن‌های محلی در C1.
۳- شناسایی وزن‌های محلی در C2.
۴- شناسایی وزن‌های محلی در C3.
۵- شناسایی وزن‌های محلی در C4.

به‌منظور حل **مدل (۱)**، خبره شماره ۱ معیارها را به $C1>C2>C3>C4$ رتبه‌بندی نمود. پس از مقایسات زوجی نتیجه در **جدول ۷** نمایش داده شده است.

جدول ۷- ارزیابی زبانی معیارهای اصلی.
Table 7- Linguistic evaluation of the main criteria.

معیارها	متغیر کلامی
C1	EI
C2	LI
C3	FI
C4	VI

بنابراین، بر اساس مقایسه خبره معیارها، اهمیت نسبی معیارها مشخص می‌شود.

$$\varphi_{\frac{C1}{C2}} = (0.67,1.0,1.5), \varphi_{\frac{C2}{C3}} = (1.0,2.0,3.73), \varphi_{\frac{C3}{C4}} = (1.0,1.5,2.3).$$

بردار اهمیت مقایسه‌ای به شکل زیر می‌باشد:

$$\Phi = \big((0.67,1.0,1.5), (1.0,2.0,3.7), (1.0,1.5,2.3)\big).$$

دو گروه از محدودیت‌ها به شکل زیر تعریف می‌شوند.

گروه اول

$$w_{C1}/w_{C2} = \ 0.67,1.0,1.5),$$
$$w_{C2}/w_{C3} = (1.0,2.0,3.73),$$
$$w_{C3}/w_{C4} = (1.0,1.5,2.3).$$

گروه دوم

$$w_{C1}/w_{C3} = \ 0.67,2.0,5.6),$$
$$w_{C2}/w_{C4} = (1.0,3.0,8.7).$$

با استفاده از حل مدل زیر در نرم‌افزار *LINGO 18.0* وزن معیارها به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned}
&min\chi \\
&s.t. \\
&\left|w_1^l - 0.67w_2^u\right| \le \chi, \\
&|w_1^m - w_2^m| \le \chi, \\
&\left|w_1^u - 1.5w_2^l\right| \le \chi, \\
&\left|w_2^l - w_3^u\right| \le \chi, \\
&|w_2^m - 2w_3^m| \le \chi, \\
&\left|w_2^u - 3.73w_3^l\right| \le \chi, \\
&\left|w_3^l - w_4^u\right| \le \chi, \\
&|w_3^m - 1.5w_4^m| \le \chi, \\
&\left|w_3^u - 2.3w_4^l\right| \le \chi, \\
&\left|w_1^l - 0.67w_3^u\right| \le \chi, \\
&|w_1^m - 2w_3^m| \le \chi, \\
&\left|w_1^u - 5.6w_3^l\right| \le \chi, \\
&\left|w_2^l - w_4^u\right| \le \chi, \\
&|w_2^m - 3w_4^m| \le \chi, \\
&\left|w_2^u - 8.7w_4^l\right| \le \chi, \\
&\textstyle\sum_{j=1}^{n} \widetilde{w}_j = 1, for\ all\ j, \\
&w_j^l \le w_j^m \le w_j^u, \\
&w_j^l \ge 0, for\ all\ j, \\
&j = 1,2,3,4.
\end{aligned}$$

در انتها با حل ۵ مدل برای هر ۳ خبره و در مجموع ۱۵ مدل، وزن نهایی معیارها محاسبه شد. نتایج و رتبه‌بندی معیارها در **جدول ۸** قابل مشاهده هستند.

جدول ۸- وزن نهایی و رتبه‌بندی نهایی زیرمعیارها.

Table 8- Final weight and final ranking of sub-criteria.

معیار	نام معیار	وزن معیار	زیر معیار	نام زیر معیار	وزن در معیار	وزن نهایی زیر معیار	رتبه نهایی
C1	فناوری‌های هوشمند و دیجیتال	0.373	C11	نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا	0.2262	0.0844	3
			C12	رایانش ابری	0.1049	0.0391	14
			C13	هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی	0.1524	0.0568	8
			C14	تجزیه‌وتحلیل کلان داده	0.0960	0.0358	15

جدول ۸-ادامه.
Table 8- Continue.

معیار	نام معیار	وزن معیار	زیر معیار	نام زیر معیار	وزن در معیار	وزن نهایی زیر معیار	رتبه نهایی
			C15	نوآوری دیجیتال	0.1155	0.0431	12
			C16	لجستیک هوشمند	0.1618	0.0604	7
			C17	بلاکچین	0.1433	0.0534	9
C2	کیفیت و عملکرد	0.286	C21	زمان تاخیر	0.2893	0.0827	4
			C22	کیفیت	0.5475	0.1566	1
			C23	استانداردسازی فرآیند و اتوماسیون	0.1632	0.0467	11
C3	کارایی و هزینه‌ها	0.197	C31	قیمت	0.4470	0.0881	2
			C32	روش تسویه‌حساب	0.3513	0.0692	5
			C33	مدیریت اطلاعات	0.2017	0.0397	13
C4	انعطاف‌پذیری و پاسخگویی	0.144	C41	تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری	0.1870	0.0269	16
			C42	همکاری دیجیتال	0.4520	0.0651	6
			C43	امنیت سایبری	0.3620	0.0521	10

معیارهای اصلی به ترتیب فناوری‌های هوشمند و دیجیتال، کیفیت و عملکرد، کارایی و هزینه‌ها و انعطاف‌پذیری و پاسخگویی در انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ دارای اهمیت هستند. مهم‌ترین معیارهای انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ عبارتند از کیفیت، قیمت، نحوه به‌کارگیری اینترنت اشیا، زمان تاخیر، روش تسویه‌حساب و همکاری دیجیتال. همچنین معیارهای تولید هوشمند و سیستم‌های تولید فیزیکی-سایبری و تجزیه‌وتحلیل کلان داده نسبت به سایر معیارها از اهمیت کمتری برخوردار هستند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

صنعت ۴/۰ با ادغام فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاکچین دگرگونی‌های عمده‌ای در زنجیره‌تامین صنایع مختلف ایجاد کرده است. در این میان، صنعت فولاد ایران نیز نیازمند بازنگری در معیارهای انتخاب تامین‌کنندگان خود است. این پژوهش به شناسایی و ارزیابی ۱۶ معیار کلیدی پرداخته که با استفاده از فناوری‌های پیشرفته می‌توانند به بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی در زنجیره‌تامین فولاد منجر شوند.

یکی از مهم‌ترین معیارها، کیفیت تامین‌کننده است که توانایی او در ارایه محصولات و خدمات با استانداردهای بالا و پایدار را نشان می‌دهد. کیفیت در صنعت فولاد، به‌ویژه با توجه به نیازهای خاص این صنعت، اهمیت بسیاری دارد و می‌تواند تاثیر مستقیم بر عملکرد و رضایت مشتریان داشته باشد. لیائو و همکاران [27]، چن و همکاران [30]، فروزش‌نژاد [34] و پارسا راد و همکاران [36] نیز نقش این معیار در را انتخاب تامین‌کننده مناسب در صنعت ۴/۰ مهم دانستند.

قیمت هر واحد کالا به‌عنوان یک معیار مهم در انتخاب تامین‌کننده در صنعت ۴/۰ فولاد ایران مطرح شده است. این معیار در مقالات متعدد دیگری نیز مورد تأکید قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، چن و همکاران [30]، حسینی دولت‌آباد و همکاران [4] و پارسا راد و همکاران [36] نیز قیمت را به‌عنوان یک عامل کلیدی در زنجیره‌تامین صنعت ۴/۰ مطرح کرده‌اند.

به‌کارگیری اینترنت اشیا می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی به بهبود فرآیندهای زنجیره‌تامین در صنعت فولاد کمک کند. با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا، شفافیت و کارایی عملیاتی افزایش می‌یابد و امکان مدیریت بهینه موجودی و کیفیت محصولات فراهم می‌شود. نتایج این مقاله با یافته‌های ازبک و ایلدیر [29]، کلیک [32]، وانگ و همکاران [33] و کوسی-سارپونگ و همکاران [35] تطابق دارد و نشان‌دهنده اهمیت و کارایی بالای اینترنت اشیا در بهبود زنجیره‌تامین در صنعت ۴/۰ می‌باشد؛ بنابراین، ترکیب این معیار زنجیره‌تامین ۴/۰ با معیارهای سنتی می‌تواند به بهبود عملکرد و اثربخشی کلی زنجیره‌تامین منجر شود.

همچنین، روش‌های تسویه‌حساب پیشرفته و دیجیتال می‌توانند سرعت و دقت در معاملات مالی را افزایش داده و ریسک‌های مرتبط با پرداخت‌ها را کاهش دهند. قدیمی و همکاران [26]، لیائو وهمکاران [27]، حسن و همکاران [31]، فروزش نژاد [34] و کوسی-سارپونگ و همکاران [35] و پارسا راد و همکاران [36] نیز بر نقش ارتباطات مالی و دیجیتال در صنعت ۴/۰ تاکید داشته‌اند. دیگر معیارهای مهم شامل رایانش ابری، هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی و بلاکچین هستند که هر یک با ارایه امکانات و قابلیت‌های منحصربه‌فرد خود، به بهبود کارایی و دقت در فرآیندهای زنجیره‌تامین کمک می‌کنند. پژوهش‌های بسیاری مانند عطاران و همکاران [13]، لاتورکار و لاتورکار [18]، راجاسانتهی و موتوسوامی [1] و شیریوستاوا و همکاران [17] نقش و تاثیر این عوامل را بر زنجیره‌تامین ۴/۰ را پر اهمیت شماردند. این عوامل در کنار هم به تصمیم‌گیران کمک می‌کنند تا تامین‌کنندگان مناسب‌تری را انتخاب کنند و به بهبود کلی عملکرد زنجیره‌تامین در صنعت ۴/۰ دست یابند.

معیارهای مهمی مانند کیفیت، قیمت، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی به‌طور گسترده در دیگر مطالعات نیز مطرح شده‌اند و تایید می‌کنند که این معیارها در سرتاسر صنایع ۴/۰ اهمیت بالایی دارند. این معیارها تا حد زیادی با پژوهش‌های مشابه بین‌المللی همخوانی دارند، اما تفاوت‌های مهمی نیز به دلیل شرایط و نیازهای خاص صنعت فولاد ایران دیده می‌شود. بسیاری از پژوهش‌های مشابه در صنایع دیگر (مانند نساجی، تجهیزات پزشکی و خودروسازی) انجام شده‌اند و در آن‌ها معیارهای خاصی مانند تولید سبز و دیجیتال، مدیریت انرژی و فرهنگ سازمانی نیز مطرح شده‌اند. در مقابل، معیارهای این پژوهش بیشتر بر جنبه‌های خاصی از فولاد مانند زمان تاخیر، روش‌های تسویه‌حساب، کیفیت و لجستیک هوشمند متمرکز است که نشان‌دهنده تطبیق این معیارها با نیازهای خاص صنعت فولاد ایران است. به‌طور کل، پژوهش حاضر با تمرکز بر صنعت فولاد و استفاده از فناوری‌های نوین صنعت ۴/۰ و روش‌های تصمیم‌گیری فازی، توانسته است مدل جامعی برای انتخاب تامین‌کننده ارایه دهد که علاوه بر شباهت با تحقیقات مشابه، دارای نوآوری‌هایی در زمینه بومی‌سازی معیارها و استفاده از رویکردهای نوین تصمیم‌گیری است.

از محدودیت‌های انجام این پژوهش می‌توان به تعداد کم خبرگانی که هم به صنعت ۴/۰ تسلط داشته باشند و هم صنعت فولاد ایران می‌توان اشاره نمود. دیگر محدودیت این پژوهش این مورد است که علیرغم تلاش پژوهشگران، کم بودن پژوهش‌های مرتبط با صنعت ۴/۰ و زنجیره‌تامین ۴/۰ در صنایع ایران می‌باشد که امکان مقایسه این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام شده را فراهم نمی‌کند. پژوهشگران آتی می‌توانند معیارهای انتخاب تامین‌کننده را در صنایع مختلف بررسی کنند تا تفاوت‌ها و شباهت‌ها را شناسایی کنند. بررسی تاثیرات بلندمدت فناوری‌های نوین و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴/۰ در ایران نیز پیشنهاد می‌شود. پژوهشگران می‌توانند با استفاده از داده‌های واقعی و به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر *TOPSIS* و *VIKOR* و ...، فرآیند انتخاب تامین‌کننده را در یک صنعت فولاد با استفاده از معیارهای این پژوهش انجام دهند.

مدیران و تصمیم‌گیران صنعت فولاد باید به‌طور فعال از فناوری‌های نوینی مانند اینترنت اشیا و رایانش ابری برای ایجاد شفافیت بیشتر در زنجیره‌تامین استفاده کنند. این فناوری‌ها امکان نظارت بلادرنگ بر موجودی، مدیریت کیفیت و بهبود عملکرد لجستیک را فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، با استفاده از حسگرهای متصل به سیستم‌های اینترنت اشیا، می‌توان وضعیت موجودی انبار و حمل‌ونقل را به‌صورت دقیق‌تر و سریع‌تر کنترل کرد. مدیران ارشد باید سرمایه‌گذاری‌های لازم در حوزه فناوری را انجام دهند و با همکاری نزدیک با تامین‌کنندگان، زیرساخت‌های دیجیتال را برای بهبود همکاری و شفافیت توسعه دهند. مدیران باید سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر فناوری‌های فازی را به‌کار گیرند تا معیارهای کلیدی مانند کیفیت و زمان تحویل را به شکلی دقیق‌تر اولویت‌بندی کرده و ریسک انتخاب تامین‌کننده نامناسب را کاهش دهند. یکی از مهم‌ترین معیارهای معرفی شده در تحقیق، همکاری دیجیتال است.

پیشنهاد می‌شود که شرکت‌های فولادی با تامین‌کنندگان خود، از طریق پلتفرم‌های دیجیتال ارتباط مستمر داشته باشند و اطلاعات را به‌صورت بلادرنگ به اشتراک بگذارند. این کار می‌تواند به بهبود هماهنگی در زنجیره‌تامین و کاهش زمان تاخیر در تحویل کالاها کمک کند. توسعه یک پلتفرم مشترک دیجیتال بین شرکت‌های فولادی و تامین‌کنندگان که امکان ردیابی سفارش‌ها و ارتباط مستمر بین طرفین را فراهم کند، می‌تواند به بهبود ارتباطات و کارایی زنجیره‌تامین کمک کند. استفاده از روش‌های تسویه‌حساب پیشرفته و دیجیتال که در این پژوهش مطرح شده است، می‌تواند به بهبود امنیت و سرعت تراکنش‌های مالی کمک کند. مدیران مالی شرکت‌های فولادی باید سیستم‌های تسویه‌حساب دیجیتال و مبتنی بر فناوری‌های بلاکچین را بررسی و پیاده‌سازی کنند تا دقت و شفافیت در معاملات مالی افزایش یابد. برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل‌های فناوری‌های صنعت ۴/۰، شرکت‌های فولادی باید برنامه‌های آموزشی و توانمندسازی برای نیروی کار خود ایجاد کنند. به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی،

اینترنت اشیا و مدیریت داده‌ها. مدیران منابع انسانی باید بر توسعه مهارت‌های دیجیتالی کارکنان و ارتقا دانش فنی آنان در زمینه فناوری‌های نوین متمرکز شوند تا اجرای فناوری‌های صنعت ۴/۰ بدون مشکل انجام شود.

در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به تحولات صنعت ۴/۰، مدیران و تصمیم‌گیران در صنعت فولاد باید با دقت بیشتری به انتخاب تامین‌کنندگان بپردازند و معیارهای نوین را در فرآیندهای ارزیابی خود لحاظ کنند. این امر می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ارتقای رقابت‌پذیری در صنعت فولاد منجر شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به توسعه دانش و کاربرد مفاهیم صنعت ۴/۰ در مدیریت زنجیره‌تامین و به‌خصوص در انتخاب تامین‌کنندگان در صنعت فولاد ایران کمک کرده و در نهایت منجر به افزایش بهره‌وری و رقابت‌پذیری در این صنعت شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه عزیزانی که در تدوین این اثر آن‌ها را یاری رساندن تشکر می‌نمایند و از داوران نشریه به علت غنابخشیدن به این مطالعه کمال تشکر را دارند.

منابع مالی

جهت تدوین این اثر از هیچ منابع مالی استفاده نشد.

تعارض با منافع

نویسندگان در نگارش این مطالعه هیچ تعارض منافی ندارند.

منابع

[1] Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0 S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International journal on interactive design and manufacturing (ijidem)*, *17*(2), 947–979.

[2] Hajoary, P. K. (2023). Industry 4.0 maturity and readiness-A case of a steel manufacturing organization. *Procedia computer science*, *217*, 614–619.

[3] Khang, A., Abdullayev, V., Hahanov, V., & Shah, V. (2024). *Advanced iot technologies and applications in the industry 4.0 digital economy*. CRC Press.

[4] Hosseini Dolatabad, A., Heidary Dahooie, J., Antucheviciene, J., Azari, M., & Razavi Hajiagha, S. H. (2023). Supplier selection in the industry 4.0 era by using a fuzzy cognitive map and hesitant fuzzy linguistic VIKOR methodology. *Environmental science and pollution research*, *30*(18), 52923–52942.

[5] Kolasani, S. (2024). Revolutionizing manufacturing, making it more efficient, flexible, and intelligent with Industry 4.0 innovations. *International journal of sustainable development through ai, ml and iot*, *3*(1), 1–17.

[6] Mia, M. R., & Shuford, J. (2024). Exploring the Synergy of Artificial Intelligence and Robotics in Industry 4.0 Applications. *Journal of artificial intelligence general science (jaigs) issn: 3006-4023*, *1*(1).

[7] Sahoo, S. K., Goswami, S. S., & Halder, R. (2024). Supplier Selection in the Age of Industry 4.0: A Review on MCDM Applications and Trends. *Decision making advances*, *2*(1), 32–47.

[8] Chauhan, A., & Singh, R. (2019). Probiotics in aquaculture: a promising emerging alternative approach. *Symbiosis*, *77*(2), 99–113.

[9] Pappas, I. O., Mikalef, P., Dwivedi, Y. K., Jaccheri, L., & Krogstie, J. (2023). Responsible digital transformation for a sustainable society. *Information systems frontiers*, *25*(3), 945–953.

[10] Nasrollahi, M., Ghadikolaei, A. S., Ghasemi, R., Sheykhizadeh, M., & Abdi, M. (2022). Identification and prioritization of connected vehicle technologies for sustainable development in Iran. *Technology in society*, *68*, 101829.

[11] Mohammadzadeh, A. K., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in society*, *53*, 124–134.

[12] Iran Steel Suppliers Association. (2024). *Statistics and information*.

[13] Attaran, S., Attaran, M., & Celik, B. G. (2024). Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0. *Decision analytics journal*, *10*, 100398.

[14] Chen, K., Golhar, D. Y., & Banerjee, S. (2023). Blockchain applications and challenges for supply chain and Industry 4.0: a literature review. *International journal of applied decision sciences*, *16*(1), 1–41.

[15] Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). The impact of industry 4.0 technologies on key performance indicators for a resilient supply chain 4.0. *Sustainability*, *15*(6), 5185.

[16] Gharaibeh, L., Eriksson, K. M., Lantz, B., Matarneh, S., & Elghaish, F. (2024). Toward digital construction supply chain-based Industry 4.0 solutions: scientometric-thematic analysis. *Smart and sustainable built environment*, *13*(1), 42–62.

[17] Shrivastava, A., Krishna, K. M., Rinawa, M. L., Soni, M., Ramkumar, G., & Jaiswal, S. (2023). Inclusion of IoT, ML, and blockchain technologies in next generation industry 4.0 environment. *Materials today: proceedings*, *80*, 3471–3475.

[18] Laturkar, K., & Laturkar, K. (2024). Unleashing the Power of Industry 4.0 Technologies for Energy Harvesting. In *Emerging materials, technologies, and solutions for energy harvesting* (pp. 179–212). IGI Global.

[19] Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert systems with applications*, *216*, 119456.

[20] Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., … Jambrak, A. R. (2023). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical reviews in food science and nutrition*, *63*(23), 6547–6563.

[21] González-Herbón, R., González-Mateos, G., Rodríguez-Ossorio, J. R., Domínguez, M., Alonso, S., & Fuertes, J. J. (2024). An Approach to Develop Digital Twins in Industry. *Sensors*, *24*(3), 998.

[22] Ambarita, E. E., Karlsen, A., Scibilia, F., & Hasan, A. (2024). Industrial digital twins in offshore wind farms. *Energy informatics*, *7*(1), 5.

[23] Prashar, G., Vasudev, H., & Bhuddhi, D. (2023). Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0. *International journal on interactive design and manufacturing (ijidem)*, *17*(5), 2221–2235.

[24] Srhir, S., Jaegler, A., & Montoya-Torres, J. R. (2023). Uncovering Industry 4.0 technology attributes in sustainable supply chain 4.0: A systematic literature review. *Business strategy and the environment*, *32*(7), 4143–4166.

[25] Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2017). An extension of moora approach for group decision making based on interval valued intuitionistic fuzzy numbers in digital supply chain. *2017 joint 17th world congress of international fuzzy systems association and 9th international conference on soft computing and intelligent systems (ifsa-scis)* (pp. 1–6). IEEE.

[26] Ghadimi, P., Wang, C., Lim, M. K., & Heavey, C. (2019). Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. *Computers & industrial engineering*, *127*, 588–600.

[27] Liao, H., Wen, Z., & Liu, L. (2019). Integrating BWM and ARAS under hesitant linguistic environment for digital supply chain finance supplier section. *Technological and economic development of economy*, *25*(6), 1188–1212.

[28] Buyukozkan, G., & Gocer, F. (2019). A novel approach integrating AHP and COPRAS under Pythagorean fuzzy sets for digital supply chain partner selection. *IEEE transactions on engineering management*, *68*(5), 1486–1503.

[29] ÖZBEK, A., & Yildiz, A. (2020). Digital supplier selection for a garment business using interval type-2 fuzzy topsis. *Textile and apparel*, *30*(1), 61–72.

[30] Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., & Chang, Y. (2020). Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach. *Applied soft computing*, *87*, 106004.

[31] Hasan, M. M., Jiang, D., Ullah, A. M. M. S., & Noor-E-Alam, M. (2020). Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information. *Expert systems with applications*, *139*, 112799.

[32] Çalık, A. (2021). A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era. *Soft computing*, *25*(3), 2253–2265.

[33] Wang, C.-N., Nguyen, T. T. T., Dang, T.-T., & Nguyen, N.-A.-T. (2022). A hybrid OPA and fuzzy MARCOS methodology for sustainable supplier selection with technology 4.0 evaluation. *Processes*, *10*(11), 2351.

[34] ForouzeshNejad, A. A. (2023). Leagile and sustainable supplier selection problem in the Industry 4.0 era: A case study of the medical devices using hybrid multi-criteria decision making tool. *Environmental science and pollution research*, *30*(5), 13418–13437.

[35] Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., Khan, S. A., Chiappetta Jabbour, C. J., Rehman, S. T., & Kusi-Sarpong, H. (2023). Sustainable supplier selection based on industry 4.0 initiatives within the context of circular economy implementation in supply chain operations. *Production planning & control*, *34*(10), 999–1019.

[36] Parsa Rad, A., Khalilzadeh, M., Banihashemi, S. A., Božanić, D., Milić, A., & Ćirović, G. (2024). Supplier Selection in Downstream Oil and Gas and Petrochemicals with the Fuzzy BWM and Gray COCOSO Methods Considering Sustainability Criteria and Uncertainty Conditions. *Sustainability*, *16*(2), 880.

[37] Sheykhizadeh, M., Ghasemi, R., Vandchali, H. R., Sepehri, A., & Torabi, S. A. (2024). A hybrid decision-making framework for a supplier selection problem based on lean, agile, resilience, and green criteria: A case study of a pharmaceutical industry. *Environment, development and sustainability*, 1–28.

[38] Tseng, M.-L., Li, S.-X., Lin, C.-W. R., & Chiu, A. S. F. (2023). Validating green building social sustainability indicators in China using the fuzzy delphi method. *Journal of industrial and production engineering*, *40*(1), 35–53.

[39] Rejeb, A., Rejeb, K., Keogh, J. G., & Zailani, S. (2022). Barriers to blockchain adoption in the circular economy: a fuzzy Delphi and best-worst approach. *Sustainability*, *14*(6), 3611.

[40] Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, *10*(9), 393.

[41] Pamucar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of the total environment*, *788*, 147763.

[42] Danacı, M., & Yıldırım, U. (2023). Comprehensive analysis of lifeboat accidents using the Fuzzy Delphi method. *Ocean engineering*, *278*, 114371.

[43] Ahmad Basri, M. A. F., Wan Ismail, W. S., Kamal Nor, N., Mohd Tohit, N., Ahmad, M. N., Mohamad Aun, N. S., & Mohd Daud, T. I. (2024). Validation of key components in designing a social skills training content using virtual reality for high functioning autism youth—A Fuzzy Delphi method. *PloS one*, *19*(4), e0301517.